

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Aplikace procesní FMEA pro výrobu ložisek**

**Application of a Procedural FMEA for the Production  
of Bearings**

Student:

Bc. Michal Bučko

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vladimíra Schindlerová, Ph.D.

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Bučko**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 10 Technologický management  
Téma: **Aplikace procesní FMEA pro výrobu ložisek**  
**Application of a Procedural FMEA for the Production of Bearings**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor řešené problematiky.
2. Analýza výrobního portfolia v podniku a procesu výroby ložisek.
3. Vyhodnocení analýzy a aplikace metody FMEA.
4. Návrh vhodné struktury FMEA procesů a nastavení pravidel k použití.
5. Celkové zhodnocení přínosu práce pro praxi.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: ÚNMZ, 2011, 40 s.  
*Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka*. Překlad Ivana Petrášová. Vyd. 4. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. 143 s. ISBN 978-80-02-02101-8.  
*Zajištění kvality v oblasti procesů: FMEA produktu, FMEA procesu*. Vyd. 2. Praha: Česká společnost pro jakost, 2012. 125 s.  
PLURA, J. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001. 244 s. ISBN 80-7226-543-1.

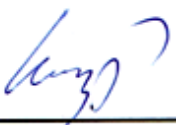
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimíra Schindlerová, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: **Ing. Silvie Čechová**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

  
Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

#### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: .....15.5.2017

.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucí diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

15.5.2017

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Michal Bučko

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Struhlovsko 1410, 753 01 Hranice

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BUČKO, M. *Aplikace procesní FMEA pro výrobu ložisek: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, 69 s. Vedoucí práce: Schindlerová, V.

Diplomová práce se zabývá aplikací procesní FMEA pro výrobu ložisek a byla zpracována ve společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o. Cílem práce je zmapovat výrobní procesy, analyzovat možnosti vzniku vad a jejich následky. Následně navrhnout vhodnou strukturu FMEA a nastavit pravidla k jejímu používání. Celá diplomová práce je přehledně rozdělena na dvě základní části, teoretickou a praktickou. Teoretická část obsahuje rozbor řešené problematiky a její využití v praxi. V praktické části jsou nejprve uvedeny informace o společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o. a je provedena analýza současného stavu procesu výroby ložisek. Analýza je vyhodnocena a následně provedena aplikace metody FMEA. Závěr diplomové práce je věnován návrhu vhodné struktury FMEA procesů a nastavení pravidel k jejímu použití v podniku.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

BUČKO, M. *Application of a Procedural FMEA for the Production of Bearings: Master Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2017, 69 p. Thesis head: Schindlerová, V.

The thesis deals with the application of a procedural FMEA for the production of bearings and was processed in Koyo Bearings Česká republika s.r.o. The objective is to introduce production processes and to analyze possibilities of defects and their consequences. The task is solved by suggesting the appropriate FMEA structure and setting rules for its use. The thesis is clearly divided into two basic parts, theoretical and practical. The theoretical part contains an analysis of the problem solved and its use in practice. In the practical part, there is the information about Koyo Bearings Česká republika s.r.o., and the analysis of the current state of the bearing production process is carried out. The analysis is evaluated and the FMEA method is applied. The conclusion of the thesis is devoted to the proposal of an appropriate structure of FMEA processes and setting the rules for its use in the company.

# Obsah

<b>Seznam použitých značek a symbolů.....</b>	<b>7</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Teoretický rozbor řešené problematiky FMEA.....</b>	<b>10</b>
1.1 Historie FMEA .....	11
1.2 Metoda FMEA.....	12
1.3 Aplikace FMEA .....	13
1.4 Rozdělení FMEA .....	14
1.4.1 FMEA produktu .....	14
1.4.2 FMEA procesu .....	14
1.5 Identifikace týmu.....	15
1.6 Identifikace nástrojů řízení .....	15
1.6.1 Pomocné techniky pro FMEA.....	16
1.7 Vypracování PFMEA .....	18
1.7.1 Formulář PFMEA .....	18
1.7.2 Etapy PFMEA .....	18
1.8 Analýza struktury .....	19
1.9 Analýza funkcí .....	20
1.10 Analýza vad .....	21
1.10.1 Možné důsledky vad .....	21
1.10.2 Možné způsoby vad .....	22
1.10.3 Možné příčiny vad .....	22
1.11 Analýza opatření.....	23
1.11.1 Identifikace a posouzení rizik .....	23
1.11.2 Určení priorit opatření a hodnocení rizika (RPN) .....	27
1.12 Optimalizace.....	28
1.13 Cíle FMEA .....	28

<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>30</b>
<b>2 Charakteristika společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o. ....</b>	<b>30</b>
2.1 Základní informace o společnosti.....	31
<b>3 Analýza výrobního portfolia v podniku a procesu výroby ložisek.....</b>	<b>36</b>
3.1 Výrobní portfolio v podniku .....	36
3.2 Analýza procesu výroby ložisek .....	40
<b>4 Vyhodnocení analýzy vad a aplikace metody PFMEA .....</b>	<b>49</b>
4.1 Analýza vad v procesu výroby ložisek.....	49
4.2 Vyhodnocení analýzy vad .....	52
4.2.1 Výsledná analýza vad .....	54
4.1 Vizuelní zobrazení vad .....	54
<b>5 Návrh vhodné struktury PFMEA a nastavení pravidel k použití.....</b>	<b>59</b>
5.1 Návrh struktury .....	59
5.2 Pravidla pro řízení PFMEA v podniku .....	61
<b>6 Celkové zhodnocení přínosu práce pro praxi .....</b>	<b>62</b>
6.1 Automatizovaná linka pro Mitec .....	62
<b>Závěr .....</b>	<b>64</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>66</b>
<b>Seznam obrázků a tabulek.....</b>	<b>67</b>
<b>Seznam grafů, schémat a příloh.....</b>	<b>69</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

AR	Vnější kroužek
CAQ	Počítačem podporovaná kontrola kvality (Computer Aided Quality)
CNC	Obráběcí stroje řízené počítačem (Computer Numeric Control)
$C_p$ , $C_{pk}$	Index způsobilosti procesu
CRB	Válečkové ložisko (Cylindrical Roller Bearing)
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
DFMEA	Analýza možných způsobů a důsledků poruch při návrhu produktu (Design Failure Mode and Effect Analysis)
DIN	Německý ústav pro průmyslovou normalizaci (Deutsches Institut für Normung e. V.)
DIN 25 448	Německá národní norma (Deutsche Industrie-Norm)
FIFO	Logistický systém toku výrobků (první do skladu, první ze skladu) (First In, First Out)
FMEA	Analýza možných způsobů a důsledků poruch (Failure Mode and Effect Analysis)
ID	Vnitřní průměr (Inner Diameter)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
JR	Vnitřní kroužek
KBCZ	Koyo Bearings Česká republika s.r.o.
KBDE	Koyo Bearings Deutschland GmbH
Ltd.	Společnost s ručením omezeným (Limited)



NRB	Jehličkové ložisko (Needle Roller Bearing)
OD	Vnější průměr (Outer Diameter)
PFMEA	Analýza možných způsobů a důsledků poruch v procesu (Process Failure Mode and Effect Analysis)
$P_p, P_{pk}$	Index krátkodobé způsobilosti procesu
ppm	Počet dílů na milion (Parts Per Million)
RA	Samostatný kroužek
RPN	Ukazatel rizikovosti (Risk Priority Number)
SPC	Statistické řízení procesů (Statistical Process Control)
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
USA	Spojené státy americké (United States of America)
VDA	Sdružení automobilového průmyslu (Verband der Automobilindustrie)
VDA 4	svazek 4 z edice příruček VDA: Zajištění kvality v oblasti procesů
VT	Označení výrobku pro Kladky vahadla ventilu (Valve Tappet)

## Zkratky z FMEA:

S	Závažnost (Severity)	[-]
O	Výskyt (Occurence)	[-]
D	Detekce (Detection)	[-]

## Úvod

*„Zlepšete kvalitu a automaticky zvýšíte produktivitu. Budete na trhu úspěšní nižší cenou a vyšší kvalitou. Budete obchodně úspěšní a vytvoříte pracovní příležitosti.“*

William Edwards Deming

Aby výrobní společnosti obstály v konkurenčním boji na trhu, jsou čím dál tím více nuceny zlepšovat svou výrobu a upevňovat pozici. Děje se to vlivem toho, že zákazníci nepřetržitě zvyšují své nároky a požadavky na efektivnost a kvalitu výroby. Zákazníci požadují co nejvyšší kvalitu produktu za minimální cenu a vyžadují co nejkratší dodací lhůty. Podniky jsou také nuceny se stále zdokonalovat kvůli vysoké konkurenci na trhu. Neustálé zlepšování kvality výrobků vede nejen ke spokojenosti zákazníka, ale také k efektivnějším procesům a ke snížení nákladů. Správné řízení kvality v podniku dále umožňuje zvýšit produktivitu výroby díky stoupajícímu množství kvalitně vyrobených produktů a následné minimalizaci oprav neshodných kusů.

Jedním z důležitých nástrojů pro zajištění kvality ve výrobním procesu je metoda FMEA. Jedná se o důležitý a současně i preventivní nástroj, založený na analýze možných rizik a definici opatření pro řešení případných problémů v průběhu zavádění a udržení výrobků ve výrobním procesu. Dobře zvládnutá FMEA ve výrobním podniku zajišťuje aktuální přehled o výskytu již evidovaných, ale také nově zjištěných vad a včasnou reakcí a nastavením preventivního opatření a kontroly (detekce) zajišťuje vyřešení příčin vzniku vady a minimalizuje jejich opětovný výskyt.

FMEA je ve své podstatě „živým“ dokumentem, který podléhá revizím a aktualizuje se na základě zkušeností a denní praxe výrobního podniku.

Diplomová práce přináší pohled na aktuální proces řízení FMEA ve strojírenském podniku zabývajícím se výrobou ložisek. Jejím cílem je zmapovat výrobní procesy při výrobě ložisek, analyzovat možné vady, definovat příčiny a nastavit vhodná opatření k minimalizaci těchto rizik. Tato zjištění porovnat s aktuální procesní FMEA podniku a následně je implementovat do nového návrhu PFMEA včetně vytvoření databází vad, efektu a dopadu vady na finální aplikaci či proces a metody detekce. Výsledná databáze se pak stane základem pro vytvoření generické PFMEA výroby ložisek.

V diplomové práci budou výsledky analýz a návrhy řešení zapracovány do Technické zprávy [12] z důvodu duševního vlastnictví firmy.

## TEORETICKÁ ČÁST

### 1 Teoretický rozbor řešené problematiky FMEA

V teoretické části diplomové práce jsou uvedeny základní pojmy, které úzce souvisí s metodou FMEA a veškerou problematikou s touto metodou spojenou.

FMEA je nedílná součást managementu rizik a napomáhá k neustálému zlepšování kvality v oblasti procesů. Je tedy jednou z hlavních metod, které jsou součástí vývoje produktu a procesu. Postup plánování kvality produktu znázorňuje pět oblastí zaměřených v tomto procesu vývoje:

- plánování a definování procesu,
- návrh a vývoj produktu,
- návrh a vývoj procesu,
- ověření produktu a procesu,
- zpětná vazba, posuzování a opatření k nápravě.

Jedním z hlavních hledisek neustálého zlepšování je zachování znalostí z dřívějších pozorování, tudíž k metodě FMEA by se nemělo přistupovat jako k jednorázové záležitosti, ale měla by být brána jako dlouhodobé pracovní nasazení. [1]

Metodu lze charakterizovat jako analýzu systému a rizik spojenou s vývojem a plánováním. Začleňuje se do odborných oblastí a obsahuje jak optimalizaci systému, tak snižování rizika. Je nezbytným nástrojem pro včasné identifikování vzniku možných vad, díky čemuž dokáže včas stanovit určitá opatření pro jejich předcházení. Pro stanovení daného opatření je třeba analyzovat a ohodnocovat všechna kritická místa a následně stanovit vhodná pravidla pro jejich předcházení, s cílem tyto rizika snížit nebo je dále ještě minimalizovat.

Na základě pečlivého strukturování systémů a procesů podporuje FMEA komunikační tok v týmové a projektové práci a současně také přenos znalostí v organizaci.

Zaznamenáváním FMEA získá společnost soubor informací, pomocí kterých jsou efektivně podporovány současné procesní a budoucí vývojové projekty. [2]

## 1.1 Historie FMEA

FMEA vznikla 9. listopadu 1949 v USA jako vojenský předpis. Byla aplikována jako technika hodnocení spolehlivosti ke stanovení dopadů poruch systémů a zařízení. Tyto poruchy byly vyhodnocovány dle vlivu na výsledek, osoby a bezpečnost zařízení.

V roce 1963 vyvinula NASA metodu FMEA pro projekt Apollo a v roce 1965 letecká technika a kosmonautika tuto metodu od NASA převzala. Později kolem roku 1975 našla tato metoda mimo jiné své uplatnění také v jaderné technice.

V automobilovém průmyslu byla poprvé FMEA použita v roce 1977 firmou FORD v USA k preventivnímu zajištění kvality. V Německu roku 1980 byla v DIN 25 448 stanovena metoda analýzy následků poruch a podtitulem FMEA. Speciálně pro automobily byla tato metoda dále vyvinuta ve svazku pro automobilový průmysl (VDA) a první popis této metody byl vydán v roce 1986 ve svazku VDA 4 pod názvem – *Zajištění kvality před sériovou výrobou*, od té doby je FMEA využívána stále častěji v automobilním průmyslu. V devadesátých letech se také FMEA rozšířila do různých oborů lékařské a sdělovací techniky.

Na začátku roku 1990 se FMEA rozvinula do systémové FMEA produktu a systémové FMEA procesu pro automobilový průmysl a zveřejnila se v podobě svazku VDA 4 z roku 1986. Roku 1996 byl vydán druhý díl svazku VDA 4 pod názvem – *Zajištění kvality před sériovou výrobou*, s podtitulem – *systémová FMEA*. V tomto druhém dílu byly popsány poznatky výrobců automobilů a bylo zde přesně stanoveno provádění FMEA. Tímto byl určen jednotný a všemi výrobcí, dodavateli uznávaný postup FMEA.

Na konci devadesátých let vznikla pracovní skupina, kterou založila německá společnost pro kvalitu. Tato skupina měla za úkol popsat aplikaci FMEA pro další oblasti využití, jako například pro služby či management projektů. Přehledný vývoj FMEA je uveden v tabulce (Tab. 1). [2]

Tab. 1 Přehled vývoje FMEA [2]

Vývoj FMEA			
<b>1963</b>	NASA – projekt Apollo	<b>1977</b>	Automobilový průmysl
<b>1965</b>	Letectví a kosmické lety	<b>1990</b>	Zdravotnická technika
<b>1975</b>	Jaderná technika	<b>1999</b>	Netechnické obory

## 1.2 Metoda FMEA

Název FMEA je zkratkou z počátečních písmen anglických slov: „*Failure Mode and Effect Analysis*“. V mezinárodní normě se tento název překládá jako „*Analýza způsobů a důsledků poruch*“, častěji se však užívá volný překlad „*Analýza možností vzniku vad a jejich následků*“.

Metodu FMEA lze popsat jako týmovou analýzu možností vzniku vad u posuzovaného návrhu, spojenou s ohodnocením jejich rizik, které jsou výstupem pro návrh a zavedení opatření směřujících k minimalizaci těchto rizik. Její aplikaci lze odhalit až 90 % případných neshod.

FMEA lze uplatnit jak při návrhu a vývoji nového produktu, tak i do procesu jeho výroby. Mezi nejdůležitější prvky úspěšného zavedení FMEA je její včasnost. Provedení FMEA produktu či procesu s předstihem umožňuje aplikovat změny mnohem snadněji a levněji z důvodu včasného odhalení možných poruch.

### Základní fáze analýzy FMEA návrhu výrobku nebo procesu:

- a) analýza a hodnocení současného stavu,
- b) návrh opatření,
- c) hodnocení stavu po realizaci opatření.

Výsledky FMEA se průběžně zapisují do standardizovaného formuláře. [3]

### ***Vliv FMEA na organizaci***

Vypracování FMEA je víceoborová záležitost, která ovlivňuje celý výrobní proces a její zavedení musí být naplánováno tak, aby bylo v celém rozsahu účinné. Tento proces je náročný z hlediska časového a je vyžadováno nezbytné zajištění potřebných zdrojů.

Organizacím je doporučeno využívat informace z předchozích analýz podobných návrhů produktů a procesů výroby pro výchozí body aplikací. [1]

### 1.3 Aplikace FMEA

Při aplikaci FMEA by mělo být zajištěno, že pozornost bude věnována zvlášť každému prvku výrobku či sestavy. Značnou pozornost je třeba věnovat kritickým a s bezpečností souvisejícím komponentům nebo procesům.

V praxi jsou uplatňovány především postupy dle metodiky amerických výrobců automobilů (QS-9000: FMEA) nebo dle metodiky německého sdružení automobilového průmyslu (VDA), jejichž principy jsou podobné.

*Existuje celá řada důvodů k použití metody FMEA a její hlavní přínosy:*

- vytváření systémový přístup k prevenci nízké jakosti,
- stanovení priorit opatření na základě množství rizika možných vad,
- optimalizace návrhu vedoucích ke snížení počtu změn ve fázi realizace,
- vytváření cenné informační databáze o produktu či procesu,
- minimální náklady na aplikaci, při porovnání s náklady, které mohou vzniknout při výskytu vad,
- vytváření větší konkurence schopnosti organizace,
- zvýšení spokojenosti zákazníka.

Mimo tyto důvody proč zavádět FMEA je dalším zásadním důvodem to, že používání FMEA je doporučováno normami ISO 9000:2000 a je stále častěji požadováno zákazníky, kteří si tímto ověřují, že výrobce posoudil a vyhodnotil všechna rizika vedoucí k selhání výrobku či procesu a výrobek je tedy v požadované kvalitě. [3]

Metodu FMEA lze také aplikovat v nevýrobních oborech. Lze ji například použít pro analyzování rizik v procesu státní správy, procesu řízení jakosti nebo také při hodnocení bezpečnostních systémů. [1]

## 1.4 Rozdělení FMEA

FMEA lze rozdělit do dvou základních aplikací:

- FMEA návrhu produktu (DFMEA) – analyzuje možnosti vzniku vad u navrhovaného produktu,
- FMEA procesu (PFMEA) – analyzuje možnosti vzniku vad v průběhu navrhovaného procesu. [3]

### 1.4.1 FMEA produktu

FMEA návrhu produktu označována jako DFMEA je analýza možných způsobů a důsledků poruch při návrhu produktu. [1]

Pomocí FMEA návrhu produktu je zajištěno co nejúplnější prozkoumání návrhu výrobku s cílem již v rané etapě návrhu identifikovat všechny možné nedostatky, kterými může navrhovaný výrobek disponovat a před jeho schválením stanovit opatření k odstranění těchto případných vad. Metodu je možno použít například při návrhu nových dílů, návrhu použití jiných materiálů, změně požadavků zákazníků, změně požadavků na bezpečnost atd. [3]

### 1.4.2 FMEA procesu

FMEA procesu označována jako PFMEA je analýza podporující vývoj výrobního procesu pro zmírňování možného výskytu poruch. [1]

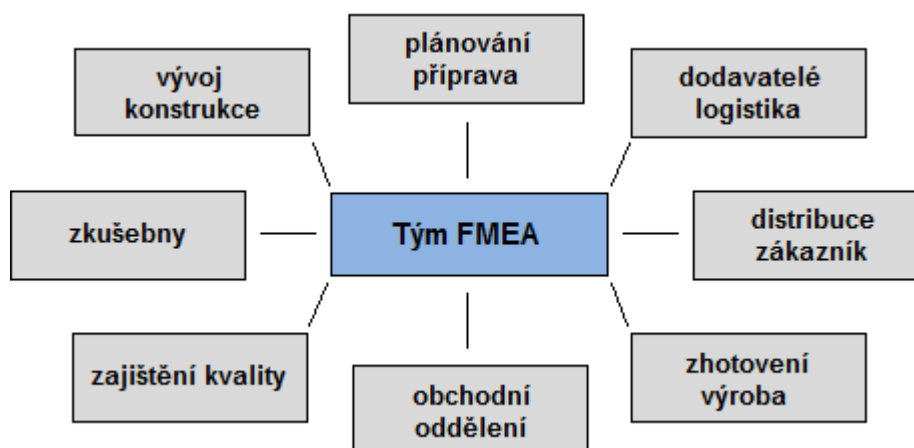
Procesní FMEA se obvykle realizuje před zahájením výroby nových či inovovaných výrobků nebo při změnách v technologických postupech a často se zavádí po FMEA návrhu výrobku, na kterou navazuje. Postup je totožný jako u FMEA návrhu produktu, akorát tím nehledá možné příčiny vad v navrhovaném řešení výrobku, ale tyto vady hledá v navrhovaném technologickém postupu.

FMEA procesu je původně stanovena pro přezkoumání návrhu technologického postupu, ale využívá se také pro přezkoumání již zavedeného výrobního procesu a umožňuje nalézt jeho slabá místa, které je snadou minimalizovat. [3]

## 1.5 Identifikace týmu

Vypracováním FMEA v podniku se zabývá víceoborový tým, jehož členy vybírá předem zvolený vedoucí (moderátor) týmu. Velikost týmu závisí jak na složitosti návrhu produktu, tak na velikosti a organizační struktuře podniku. Tým je složen ze zástupců dotčených funkčních oblastí, které si musí moderátor týmu důkladně vybrat. Členové týmu musí prokazovat nezbytné znalosti a dovednosti z daného oboru a také znalosti postupu FMEA. K úspěšnému procesu se doporučuje týmový přístup, především pro zajištění vstupů z dotčených oblastí.

Tým by měl mít své zástupce z oblastí vývoje, konstrukce, technologie, výroby, kvality, zkušebny, marketingu, montáže atd. Výběr dalších členů do týmu závisí na konkrétním tématu při vypracování FMEA. Příslušné další znalosti mohou mít zástupci z oblastí logistiky, bezpečnosti, údržby, balení nebo samotný zákazník. Oblasti, kterých se týká vypracování FMEA, jsou znázorněny na obrázku (Obr. 1). [1]



Obr. 1 Oblasti oddělení pro tým FMEA

## 1.6 Identifikace nástrojů řízení

Nástroje řízení lze charakterizovat jako činnosti zjišťující příčinu nebo způsob vady, za účelem těmto vznikajícím příčinám zabránit. Během zpracování nástrojů řízení je třeba stanovit, co je děláno špatně, jak by se to dalo odhalit a jak tomu zabránit. [1]

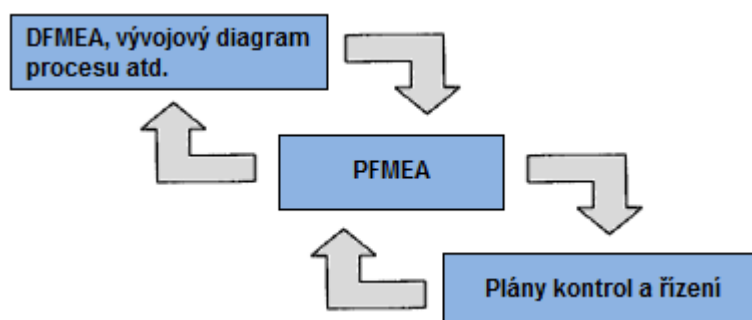


Poznatky, které mohou být pro tým užitečné při vypracování příslušných požadavků, vedení diskusí atd. lze využít například z:

- DFMEA,
- výkresy a dokumenty projektů,
- rozpiska procesu,
- vnitřní a vnější (zákaznické) neshody plynoucí z minulosti,
- informace o kvalitě a bezporuchovosti z minulosti.

K informacím o kvalitě, které má tým k použití z předchozích návrhů procesu, patří dále výtěžnost procesu, způsobilost napoprvé (u každé operace na obou koncích linky), dílů na milion (ppm) a ukazatele způsobilosti procesu ( $C_{pk}$  a  $P_{pk}$ ). Tyto informace mohou být pomocným vstupem při stanovení známek hodnocení závažnosti, výskytu a detekce. [1,4]

PFMEA není samostatným dokumentem, při jejím vypracování je důležité využívat informace také z DFMEA. Vazba mezi FMEA produktu a procesu je znázorněna na obrázku (Obr. 2). [1]



Obr. 2 Vztahy informačních toků v rámci PFMEA [1]

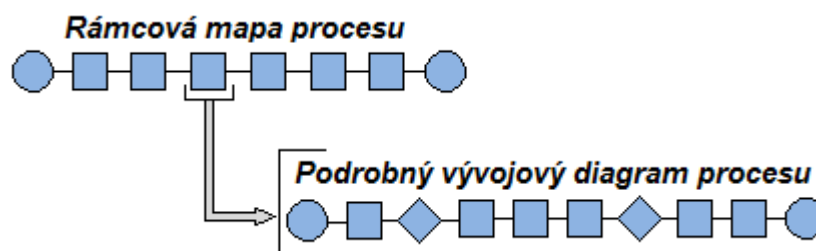
### 1.6.1 Pomocné techniky pro FMEA

Mezi pomocné techniky pro zdokumentování FMEA, sloužící k jejímu vypracování a následnému aplikování lze například využít:

- vývojový a stromový diagram,
- diagram příčin a důsledků,
- brainstorming a brainwriting,
- myšlenkové mapy,
- matice rizik atd.

### **Vývojový diagram procesu**

Vývojový diagram znázorňuje tok produktu procesem výroby od vstupu po výstup. Úkolem diagramu je popisovat všechny kroky výrobního či montážního procesu i jejich vstupy a výstupy. Detaily výrobního procesu jsou závislé na jeho vývoji. Počáteční vývojový diagram se považuje za rámcovou mapu procesu (Schéma 1), která požaduje důkladnější analýzu pro stanovení případných způsobů poruch.



*Schéma 1 Rámcová mapa a vývojový diagram procesu [1]*

Rozsah vývojového diagramu by měl obsahovat veškeré výrobní informace (od výrobního postupu jednotlivých komponentů, až po montáž včetně odesílání, přejímky, přepravy materiálu, skladování atd.). [1]

### **Brainstorming a brainwriting**

Brainstroming – je tvořivá skupinová technika, jejímž cílem je v co nejkratší době vytvořit co největší počet originálních myšlenek. Doporučený počet lidí v týmu je mezi 7 – 10 zastupujících více oborů, z nichž někteří by měli být naprostí laici. Vedoucí týmu by neměl být nadřízený a odborník na řešenou problematiku. Průběh brainstormingu lze rozdělit do čtyř kroků (obeznámení se s pravidly brainstormingu, obeznámení se s problémem, rozcvička, brainstormingová diskuse a následné zpracování výsledků).

Brainwriting – lze charakterizovat jako skupinovou kreativní techniku odvozenou od brainstormingu s tím rozdílem, že se používá většinou v písemné podobě. Odstraňuje možnosti kritiky a umožňuje lepší uplatnění osobám, kterým dělá problém verbální komunikace. Díky anonymitě se využívá na situace, kde je potřeba otevřeně rozebrat příčiny neúspěchů nebo problémů řízení. Průběh je obdobný jako u brainstormingu. [5]

## 1.7 Vypracování PFMEA

Při vypracování PFMEA je důležité nejprve stanovit záměr procesu. Vedoucí týmu má k dispozici dostatek dokumentů, které lze při vypracování PFMEA využít. PFMEA by měla začínat vývojovým (postupovým) či stromovým diagramem procesu, jehož cílem je definovat charakteristiky procesu, související s každou operací. Měly by se zahrnovat dopady na produkt plynoucí z DFMEA a dokládat kopie diagramu použitého při vypracování PFMEA. Pro lepší přehlednost analýzy poruch a jejich následků slouží formuláře PFMEA. [1]

### 1.7.1 Formulář PFMEA


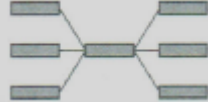



Pro přehledné dokumentování analýzy možných poruch a jejich následků slouží formulář PFMEA. Formulář obsahuje minimální objem informací a je vodítkem jak dokumentovat diskuze týmu a analýzu prvků. Pořadí jednotlivých sloupců je možno upravovat dle potřeb pro organizaci a zákazníka (pro zákazníka musí být vždy přijatelný). Pro správnost formuláře je také důležité záhlaví, to by mělo zejména určit zaměření PFMEA, jakož i informace společné s procesem řízení a zpracováním dokumentů. Mělo by se uvádět číslo FMEA, označení předmětu, odpovědnost za návrh procesu, rok výroby, datum vypracování, řešitelský tým, pracovník odpovědný za vypracování atd. [1]

### 1.7.2 Etapy PFMEA

PFMEA lze rozčlenit do pěti etap, které zabezpečují systémový přístup a zajišťují reprodukovatelnou dokumentaci. Tyto etapy jsou popsány v metodice německého sdružení automobilového průmyslu VDA 4.2 a jedná se o nově rozpracovanou variantu metody FMEA procesu. Systémová FMEA procesu je postavena na stejných principech jako PFMEA, jen s rozdílem, že při analýze současného stavu je uplatňován systémový přístup. [3]

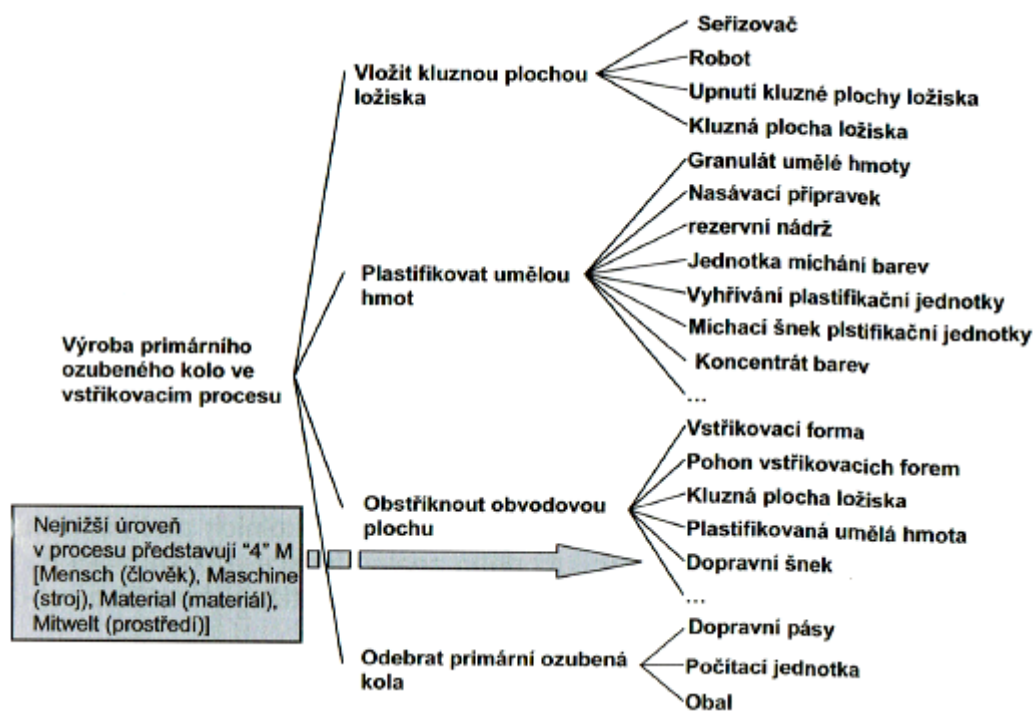
Etapu 1. (analýza struktury) a etapu 2. (analýza funkcí) lze provádět postupně nebo souběžně. Zbýlé etapy, analýza chyb, analýza opatření a optimalizace se zpracovávají postupně. V tabulce (Tab. 2) jsou uvedeny jednotlivé etapy s jejich cíly. [2]

Tab. 2 Přehled etap PFMEA a jejich cíle [2]

Etapa	Název / schéma	Cíl
1.	<b>Analýza struktury</b> 	• Souhrn o pozorovaném předmětu.
		• Opakované využití modulů.
		• Vymezení a popis rozhraní.
		• Určení odpovědnosti.
2.	<b>Analýza funkcí</b> 	• Souhrn o krocích v procesu.
		• Souhrn o spojitosti příčina – následek.
		• Východisko pro analýzu vad.
3.	<b>Analýza vad</b> 	• Stanovení případných vadných funkcí.
		• Spojení vadných funkcí.
		• Zpracování formuláře.
4.	<b>Analýza opatření</b> 	• Určená opatření připojit k vadným funkcím.
		• Posouzení rizika.
5.	<b>Optimalizace</b> 	• Stanovení opatření potřebných ke zlepšení.
		• Posouzení rizika.
		• Kontrola provedených opatření.
		• Zaznamenávání provedených opatření.

## 1.8 Analýza struktury

Při zpracování struktury systému je míra zpracování závislá na procesu a nelze ji pevně stanovit. Rozsah analyzování struktury závisí na mnoha faktorech, například pokud se během analýzy (etapa 1-5) některé oblasti vyskytne riziko, které není přijatelné, popřípadě nelze stanovit, je zapotřebí další propracování detailů. První úrovní pozorování jsou klasická „4M“ (člověk, stroj, materiál, prostředí) v procesu. Příklad struktury systému je znázorněn na obrázku (Obr. 3). [2]



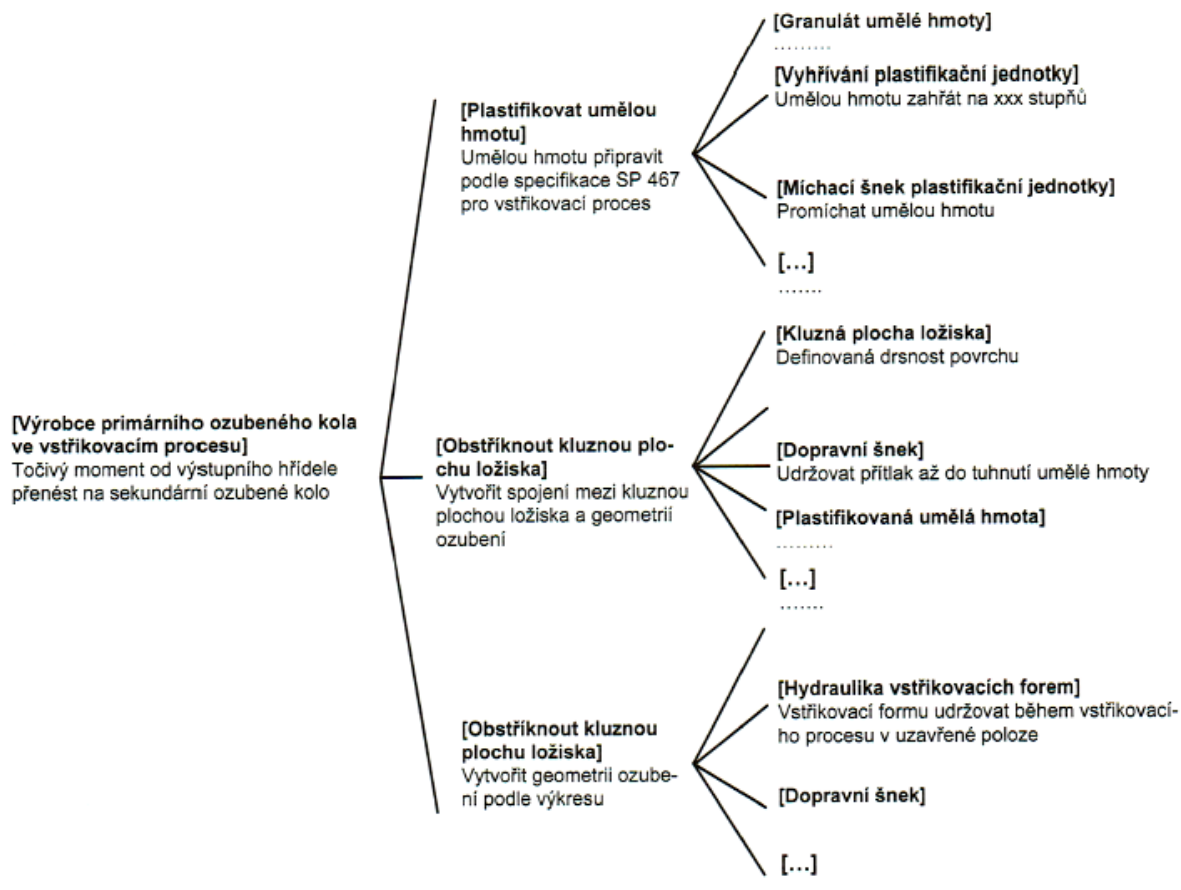
Obr. 3 Příklad struktury systému [2]

## 1.9 Analýza funkcí

Cílem je objasnit záměr návrhu nebo účel předmětu a případnou pomoc při určení možného způsobu vady. [1]

Vzájemné působení procesu systémových prvků musí být určeno například jako funkční síť, funkční struktura, strom funkcí, vývojové diagramy. Pro vypracování funkčních struktur či vývojových diagramů se musí brát v potaz vlastní funkce.

Příklad vypracování funkční struktury je znázorněn na obrázku níže (Obr. 4). Struktura během procesu roste zleva doprava, přičemž průběh vpravo znázorňuje, jak má být proces popsán dopodrobna. Při vypracování pomáhají otázky „Jak“ a „Proč“.



Obr. 4 Příklad struktury funkcí [2]

## 1.10 Analýza vad

Pro všechny systémové prvky se provede analýza vad. Jsou odvozeny chybné funkce a vypracovány jejich struktury. Pokaždé dle zaměření je možno vzít v potaz chybnou funkci jako příčinu vady, způsob nebo důsledek vady. Zpracované struktury vadných funkcí jsou převedeny do sloupců „Možné důsledky vad“, „Možné způsoby vad“ a „Možné příčiny vady“ formuláře PFMEA. [2]

### 1.10.1 Možné důsledky vad

Možné důsledky vad jsou definovány tak, jak si jich všímá zákazník a jsou popsány tak, jak je může pozorovat. Zákazník může být nejen konečný uživatel, ale i interní pracovník při další technologické operaci. Identifikování možných důsledků obsahuje analýzu následků vad a jejich závažnost.

### 1.10.2 Možné způsoby vad

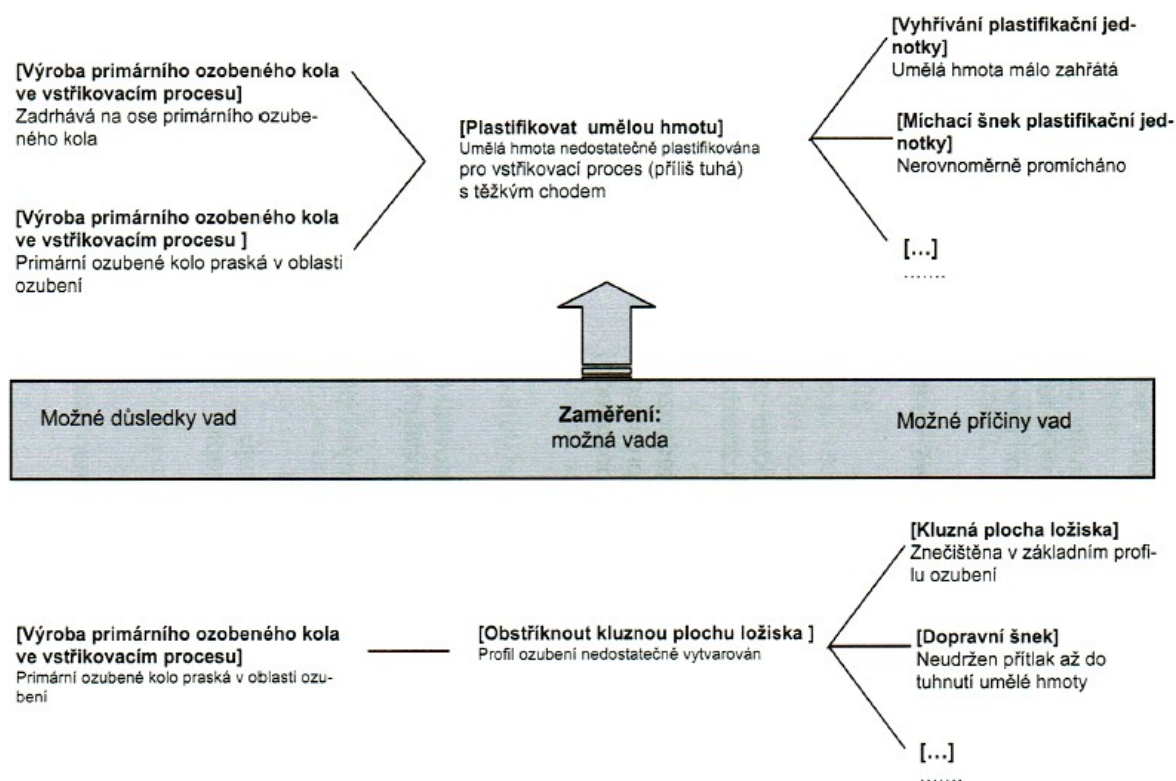
Zde je definováno, jakým způsobem by proces mohl při plnění záměru selhat. Vada se vyskytnout nemusí, ale může. Pouze za předpokladu, že se porucha vyskytne, je důležitý její jednoduchý a srozumitelný popis. Vady by neměly být složitě popisovány a jejich velký počet spojený pouze s jedním požadavkem znamená, že popis není stručný a jasný.

### 1.10.3 Možné příčiny vad

Možné příčiny vad jsou formulovány tak, jak se mohou vyskytnout. Jsou popsány jako činnosti, které při jejich výskytu lze napravit a následně jim předejít.

Mezi příčinami a způsoby poruch existují přímé vztahy, pokud se vyskytne příčina, naskytne se i způsob poruchy. Důkladným rozpoznáním příčiny vady je možno stanovit vhodné nástroje řízení. [1]

Příklad struktury vadných funkcí vyplývající z výroby ozubeného kola je zobrazen na obrázku (Obr. 5).



Obr. 5 Příklad analýzy vad [2]

## 1.11 Analýza opatření

Opatření je možno rozdělit do dvou skupin, opatření k zamezení (preventivní) a opatření k odhalení (kontrolní). Opatření k zamezení je zaměřeno na ideální plánování procesu s cílem co nejvíce minimalizovat pravděpodobnost výskytu vady, musí být jednoznačná a přesně popsána. Opatření k odhalení slouží k identifikování možné vady a je předepsáno jednoznačné a přesné definování.

Dále je vyhodnoceno riziko související s každou příčinou vady. K hodnocení tohoto rizika jsou zahrnuty nalezená opatření k odstranění a odhalení ve stádiu vývoje a plánování. [2]

### 1.11.1 Identifikace a posouzení rizik

Posouzení rizik při postupu PFMEA je hodnoceno pomocí tří charakteristik (závažnosti, výskytu a odhalení). Tyto charakteristiky jsou popsány níže:

#### **Závažnost (S)**

Závažnost je hodnota, která je propojována s nejzávažnějším důsledkem v případě způsobu vady. Představuje známkování v rozmezí „1–10“, přičemž číslo „10“ náleží pro nesplnění bezpečnostních požadavků či požadavků předpisů. Číslo „1“ znamená, že závažnost nemá žádný znatelný důsledek na funkci. Doporučená kritéria hodnocení závažnosti v rámci PFMEA jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3). [1]

#### **Výskyt (O)**

Udává pravděpodobnost výskytu vady v procesu a bere v úvahu daná opatření k zamezení. Znamku hodnocení výskytu je třeba chápat jako relativní význam než absolutní hodnotu poznatků. Odhadne se výskyt možné příčiny vady na stupnici od „1 – 10“ dle tabulky (Tab. 4). K odhadu lze například využít poznatky expertů.

Jestliže je značná pravděpodobnost výskytu sledované vady, výskyt se ohodnotí známkou „10“. Znamka „1“ je přiřazena, pokud je nepravděpodobné, že se sledovaná příčina vady vyskytne. [2]



Tab. 3 Kritéria hodnocení závažnosti v oblasti PFMEA [1]

Důsledek	Kritéria: Závažnost důsledku ve vztahu k produktu (Důsledek ve vztahu k zákazníkovi)	Známka hodnocení	Důsledek	Kritéria: Závažnost důsledku ve vztahu k produktu (Důsledek ve vztahu k výrobě)
Nesplnění bezpečnostních požadavků a/nebo požadavků předpisů	Možný způsob poruchy, který bez varování ovlivňuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesoulad s právními předpisy.	10	Nesplnění bezpečnostních požadavků a/nebo požadavků předpisů	Bez varování může ohrozit operátora (stroj nebo montážní celek).
	Možný způsob poruchy, který i s varováním ovlivňuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesoulad s právními předpisy.	9		S varováním může ohrozit operátora (stroj nebo montážní sestavu).
Ztráta nebo zhoršení primární funkce	Ztráta primární funkce (vozidlo je nepojízdné, neovlivňuje bezpečný provoz vozidla).	8	Závažné porušení	100% produktů bude muset být vyřazeno. Odstávka linky nebo zastavení dodávky.
	Zhoršení primární funkce (vozidlo je pojízdné, avšak při snížené úrovni technických parametrů).	7	Významné porušení	Část výrobní dávky bude muset být vyřazena. Odchylna od primárního procesu včetně snížené rychlosti linky nebo dodatečného personálu
Ztráta nebo zhoršení sekundární funkce	Ztráta sekundární funkce (vozidlo je pojízdné, ale funkce zajišťující pohodu/pohodlí nejsou funkční).	6	Mírné porušení	100% výrobní dávky bude muset být přepracováno mimo linku a schváleno.
	Zhoršení sekundární funkce (vozidlo je pojízdné, ale funkce zajišťující pohodu/pohodlí jsou na nižší úrovni technických parametrů).	5		Část výrobní dávky bude muset být přepracována mimo linku a schválena.
Nepříjemnost	Vzhled nebo hluk, vozidlo je pojízdné, objekt nevyhovuje a všimla si toho většina zákazníků (>75%).	4	Mírné porušení	100% výrobní série bude muset být přepracována na pracovišti před dalším výrobním postupem.
	Vzhled nebo hluk, vozidlo je pojízdné, objekt nevyhovuje a všimlo si toho mnoho zákazníků (50%).	3		Část výrobní dávky bude muset být přepracována na pracovišti před dalším výrobním postupem.
	Vzhled nebo hluk, vozidlo je pojízdné, objekt nevyhovuje a všimli si toho hodně nároční zákazníci (<25%).	2	Minimální porušení	Drobná nepříjemnost ve vztahu k procesu, operaci nebo k operátorovi.
Žádný důsledek	Žádný znatelný důsledek	1	Žádný důsledek	Žádný znatelný důsledek

Tab. 4 Kritéria hodnocení výskytu v oblasti PFMEA [1]

Pravděpodobnost vady	Kritéria: výskyt příčiny – PFMEA (Počet případů na počet objektů / vozidel)	$C_{pk}$	Známka hodnocení
Velmi velká	$\geq 100$ na tisíc $\geq 1$ z 10	$< 0,33$	<b>10</b>
Velká	50 na tisíc 1 z 20	$\geq 0,33$	<b>9</b>
	20 na tisíc 1 z 50	$\geq 0,51$	<b>8</b>
	10 na tisíc 1 ze 100	$\geq 0,67$	<b>7</b>
Střední	2 na tisíc 1 z 500	$\geq 0,83$	<b>6</b>
	0,5 na tisíc 1 z 2 000	$\geq 1,00$	<b>5</b>
	0,1 na tisíc 1 z 10 000	$\geq 1,17$	<b>4</b>
Malá	0,01 na tisíc 1 z 100 000	$\geq 1,33$	<b>3</b>
	$\leq 0,001$ na tisíc 1 z 1 000 000	$\geq 1,50$	<b>2</b>
Velmi malá	Vada je eliminována nástroji řízení prevence.	$\geq 1,67$	<b>1</b>

Index způsobilosti  $C_{pk}$ , obsažený v tabulce 4, popisuje skutečnou způsobilost procesu udržovat předepsané toleranční meze. Hodnota  $C_{pk}$  vyjadřuje rozdíl vzdálenosti střední hodnoty sledovaného znaku jakosti od bližší toleranční meze k polovině skutečné variability hodnot. Index lze spočítat v oboustranné i jednostranné toleranci. [3]

### Detekce (D)

Detekce je relativní ohodnocení, které je spojeno s nástrojem řízení detekce zobrazeným v příslušném sloupci pro nástroje řízení detekce. S cílem dosažení nižšího čísla hodnocení je třeba vylepšit plánovaný nástroj řízení detekce. [1]

Pokud je nemožné či nepravděpodobné vadu včas detekovat, nebo nejsou žádná opatření k odhalení, zvolí se hodnotící známka „10“. Znamka „1“ se zvolí tehdy, jestliže bude vada bezpečně a včas odhalena. Číslo „1“ se zvolí tehdy, pokud bude

výrobní vada s vysokou pravděpodobností odhalena v místě jejího vzniku. Kritéria pro hodnocení detekce jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5). [2]

*Tab. 5 Kritéria hodnocení detekce v oblasti PFMEA [1]*

<b>Možnost detekce</b>	<b>Kritéria: Pravděpodobnost odhalení nástrojem řízení procesu</b>	<b>Známka hodnocení</b>	<b>Pravděpodobnost odhalení</b>
Žádná možnost detekce	Žádný nástroj řízení pro stávající proces; nelze odhalit nebo není analyzováno.	<b>10</b>	Téměř nemožná
V žádné etapě není pravděpodobná možnost detekce	Není snadné zjistit způsob poruchy a/nebo chybu (příčinu), (např. namátkové audity).	<b>9</b>	Velmi mizivá
Detekce problému po provedení operace	Detekce způsobu poruchy po provedení operace operátorem pomocí vizuálních / taktilních / akustických prostředků.	<b>8</b>	Mizivá
Detekce problému u zdroje	Detekce způsobu poruchy na pracovišti operátorem pomocí vizuálních / taktilních / akustických prostředků nebo po provedení operace s využitím atributivního měření (vyhovuje / nevyhovuje, ruční kontrola utahovacího momentu / maticový klíč atd.).	<b>7</b>	Velmi malá
Detekce problému po provedení operace	Detekce způsobu poruchy po provedení operace operátorem s využitím měření proměnných veličin nebo na pracovišti operátorem s využitím atributivního měření (vyhovuje / nevyhovuje, ruční kontrola utahovacího momentu / maticový klíč atd.).	<b>6</b>	Malá
Detekce problému u zdroje	Detekce způsobu poruchy nebo chyby (příčiny) na pracovišti operátorem s využitím měření proměnných veličin nebo automatizovaných nástrojů řízení na pracovišti, kterými se zjistí neshodný díl a uvědomí se operátor (světlo, akustický signál atd.). Měření se provádí při nastavení a kontrole prvního kusu (pouze pro příčiny při nastavování).	<b>5</b>	Střední
Detekce problému po provedení operace	Detekce způsobu poruchy po provedení operace automatizovanými nástroji řízení, kterými se zjistí neshodný díl; díl se zablokuje, aby se zabránilo další výrobní operaci.	<b>4</b>	Středně velká
Detekce problému u zdroje	Detekce způsobu poruchy na pracovišti automatizovanými nástroji řízení, kterými se zjistí neshodný díl; díl se automaticky zablokuje na pracovišti, aby se zabránilo další výrobní operaci.	<b>3</b>	Velká
Detekce chyby a/nebo prevence problému	Detekce chyby (příčiny) na pracovišti automatizovanými nástroji řízení, kterými se zjistí chyba a zabrání se zhotovení neshodného dílu.	<b>2</b>	Velmi velká
Detekce není aplikovatelná; prevence chyby	Prevence chyby (příčiny) v důsledku návrhu upínacího přípravku, návrhu stroje nebo návrhu dílu. Neshodné díly nemohou být vyrobeny, protože objekt je díky návrhu procesu / produktu odolný proti chybám.	<b>1</b>	Téměř jistá

### 1.11.2 Určení priorit opatření a hodnocení rizika (RPN)

Po dokončení počáteční identifikace způsobů a důsledků vad, příčin a nástrojů řízení, včetně ohodnocení z hlediska závažnosti, výskytu a detekce, musí tým FMEA stanovit, zda je potřeba k minimalizování rizika další úsilí. Je třeba brát v úvahu také omezení zdrojů, času, technologie při stanovení těchto priorit úsilí.

Tým by měl nejprve věnovat pozornost způsobům vad s nejvyššími známkami hodnocení závažnosti. V případě, že je známka závažnosti „9“ nebo „10“, je nutné stanovit řešení tohoto rizika pomocí nástrojů řízení nebo doporučit opatření. Pokud jsou vady ohodnoceny známkou závažnosti „8“ a nižší, měl by se tým zabývat příčinami, které disponují nejvyšší známkou hodnocení výskytu nebo detekce. Tým je odpovědný posoudit zjištěné informace a určit priority úsilí k minimalizování rizik vedoucích k prospěchu organizace a uspokojení zákazníka. [1]

#### ***Hodnocení rizika – RPN***

Ukazatel priority rizika je jednou z možností ke stanovení priorit opatření. Rizikové číslo jednotlivých možných vad vzniklých určitou příčinou se vypočítá jako součin hodnocení závažnosti vad, výskytu vad a detekce vad. [3]

#### *Ukazatel priority rizika RPN*

$$RPN = S * O * D \quad (1)$$

Legenda:

RPN ukazatel priority rizika,

S závažnost,

O výskyt,

D detekce.

Pokud zákazník využil pro objekt prahovou hodnotu „100“, vyžaduje se, aby dodavatel přistoupil k opatření u charakteristiky B s RPN „112“ (Tab. 6). V tabulce níže je RPN vyšší u objektu B než u objektu A. Větší pozornost je doporučeno věnovat objektu A s vyšší závažností „9“ a s RPN „90“, ačkoli je nižší než u objektu B a je pod danou prahovou hodnotou. [1]

Tab. 6 Příklad výpočtu hodnoty RPN [1]

Objekt	Závažnost	Výskyt	Detekce	RPN
A	9	2	5	90
B	7	4	4	112

### 1.12 Optimalizace

Pokud je výsledné ohodnocení stavu nedostačující, jsou navržena nová opatření, která se vypracovávají podobně jako u 4. etapy. Vypracuje se nový stav opatření, kdy opatření se hodnotí předem odpovědnými osobami a předloží k rozhodnutí. Po jejich realizaci je potřeba provést kontrolu účinnosti a hodnocení. Pokud se vyhodnotí, že opatření nedosahuje požadovaného výsledku, musí optimalizace probíhat opakovaně, než bude výsledek přijatelný.

Pořadí optimalizace probíhá dle následujících kroků:

- obměna procesu, z důvodu vyloučení příčiny vady,
- navýšení stability procesů, z důvodu minimalizování výskytu příčiny vady,
- účinnější odkrytí špatných funkcí.

Při změnách procesu se uskuteční pro dané dílčí oblasti všech pět etap PFMEA znovu. [2]

### 1.13 Cíle FMEA

Cíle FMEA vychází ze změněných vlivů na organizaci. Zákazníci požadují stále vyšší nároky na kvalitu. Tyto nároky se projevují stejně jako potřebná optimalizace nákladů na výrobky a procesy, které v rámci legislativy požadují odpovědnost výrobců za škody způsobené vadou výrobku (ručení za produkt).

*Splnění následně zmíněných cílů organizace je dále podporováno pomocí FMEA:*

- navyšování funkční bezpečnosti a spolehlivosti výrobků a procesů,
- minimalizace garančních a kulantních nákladů prodloužením záruční doby,
- bezproblémové rozběhy sérií,
- snižování nákladů na výrobu a montáž,
- splnění daných termínů,
- orientace na zákazníka,
- zaměření se na komunikaci mezi interními a externími zákazníky a dodavateli,
- tvorba databáze ve společnosti,
- dokazování bezpečnosti při schvalování vozidel a jejich prvků.

FMEA jako metoda předcházejícího vzniku vad je využívána již ve velmi brzkém stádiu procesu výroby produktu. Jejím cílem je těmto vadám včas předcházet a zavádět opatření k jejich zamezení. [2]

## PRAKTICKÁ ČÁST

### 2 Charakteristika společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o.

Úvod této praktické části pojednává o základních informacích společnosti, ve které byla tato diplomová práce zpracovávána. Jsou zde uvedeny informace o společnosti, zahrnující její historický vývoj, charakteristiku a situování závodu, organizační strukturu, získaná ocenění a certifikáty. Dále je znázorněna výrobní hala a schéma jednotlivých pracovišť s jejich popisem.

Koyo Bearings Česká republika s.r.o. (KBCZ) je součástí výrobních závodů nadnárodní korporace JTEKT. Korporace vznikla v roce 2005 uzavřením smlouvy Koyo Seiko Co., Ltd. (zakladatel Z. Ikeda, 1925) s Toyoda Machine Works, Ltd. Nyní má JTEKT své sídlo ve městech Nagoya a Osaka v Japonsku a je akciovou společností, kde největší část akcií vlastní Toyota Motor Corporation. Logo korporace JTEKT je znázorněno na obrázku (Obr. 6). [7]



Obr. 6 Logo korporace JTEKT [8]

JTEKT vlastní celkem 81 výrobních závodů s ročním obratem 15 miliard dolarů a zaměstnává 43 500 pracovníků. Korporace je uznávána v automobilovém a průmyslovém odvětví zásluhou vysoké kvality a výkonu svých výrobků. Patří mezi světové výrobce a je organizována celkem do čtyř divizí – ložiska, řízení, nápravy, stroje a nářadí.

V České republice má JTEKT své zastoupení nejen v Olomouci (KBCZ), kde byla tato práce zpracovávána, ale také v Plzni (JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o. – JAPL), ve které se specializují na výrobu řídicích systémů, a v Pardubicích (JTEKT Automotive Czech Pardubice – JAPA), kde se zabývají výrobou odlitků převodovek a výrobou jejich součástí. [9]

## 2.1 Základní informace o společnosti

Koyo Bearings Česká republika s.r.o. (KBCZ) je strojírenská společnost, se sídlem v Olomouci, zabývající se výrobou ložisek a kladek. Své zákazníky má z oblasti automobilového průmyslu a strojírenství, kam směřuje většina produkce. Logo společnosti je znázorněno níže (Obr. 7) a na obrázku (Obr. 8) je zachycen panoramatický pohled na budovu firmy. [7]



*Obr. 7 Logo společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o. [10]*






*Obr. 8 Panoramatický pohled na Koyo Bearings Česká republika s.r.o. [7]*



### Historie společnosti

Moderní závod společnosti KBCZ byl vybudován během šesti měsíců na okraji města Olomouce v roce 2001, lokalita byla vybrána především díky dostupné kvalifikované pracovní síle a optimální geografické poloze. Olomoucký výrobní závod vlastnily celkem tři korporace, vybudován byl korporací Ingersoll Rand Company a v roce 2003 byl následně odkoupen korporací The Timken Company. V roce 2010 byla divize znovu odkoupena a novým majitelem se stala korporace JTEKT, která vlastní KBCZ do současnosti. Detailní historický vývoj je popsán v tabulce (Tab. 7). [7,9]

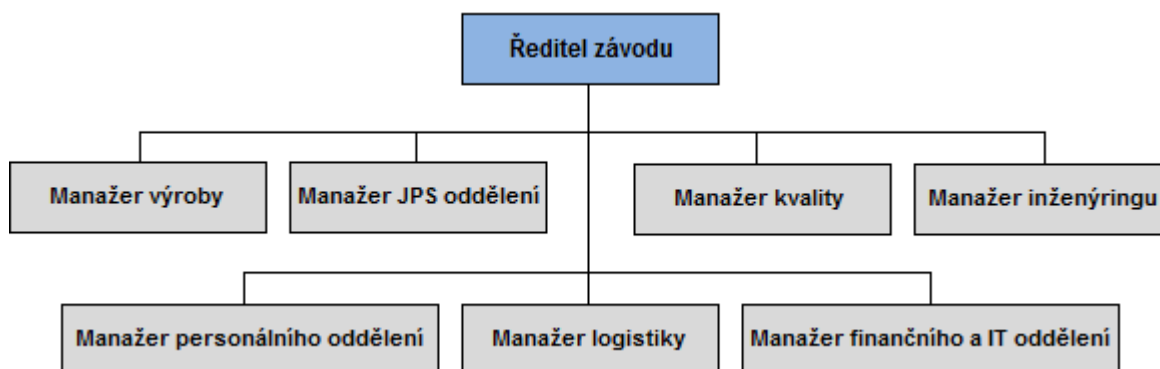
Tab. 7 Historický vývoj KBCZ [9]

Historický vývoj		
Rok	Vývoj	Logo korporace
2000	Založení společnosti Torrington, která spadala pod nadnárodní korporaci Ingersoll Rand Company.	
2001	Výstavba nového závodu.	
2002	Přesun výroby válečkových a jehličkových ložisek ze sesterského závodu Künsebeck, Německo.	
2003	Divize odkoupena korporací The Timken Company.	
2004	Nová výroba kladek do dieselových motorů pro Scania.	
2006	Přesun výroby z francouzského závodu Vierzon.	
2007	Zisk projektu pro Renault.	
2010	Divize odkoupena korporací JTEKT.	
2011	Zisk projektu pro Schmidt → Daimler.	
2012	Zisk projektu pro Audi.	
2013	Zisk projektu pro Mitec → Land Rover, Jaguar.	
2014	Zisk projektu pro Iveco.	
2015	Zisk projektu pro Borg Warner → VW.	
2016	Zisk projektu pro ZF Friedrichshafen AG → Porsche.	

### Organizační struktura vedení

V současné době je v Koyo Bearings Česká Republika s.r.o. zaměstnáno celkem cca 440 pracovníků. Dalších 200 pracovníků zaměstnává z různých firem tým, že pro společnost vykonávají jiné strojírenské nebo servisní činnosti. Současnou

organizační strukturu vedení KBCZ (Schéma 2) lze charakterizovat jako organizační strukturu liniovou. [9]



*Schéma 2 Organizační struktura vedení v KBCZ [9]*

Na začátku práce byl dále sestaven tým FMEA a moderátor. Členy týmu jsou zástupci jednotlivých oddělení podniku, přičemž moderátor zastupuje oddělení kvality, na kterém je zpracovávána tato diplomová práce.

### ***Certifikáty a ocenění***

Cílem společnosti je neustálé zlepšování v oblasti výroby, kvality výrobků, bezpečnosti a produktivity práce. Tyto cíle jsou výsledkem toho, že KBCZ je držitelem několika ocenění (např. „nejlepší zaměstnavatel olomouckého kraje“, „progresivní zaměstnavatel regionu 2014“ atd.) a certifikátů (Obr. 9).

Některé certifikáty KBCZ jsou vypsány níže:

- ISO 9000
- QS 9001
- VDA 6.1
- ISO/TS 16949
- ISO 14001
- ISO 18001

Závod dále obdržel velké množství certifikátů od zákazníků z oblasti automobilového průmyslu, jelikož tito zákazníci požadují plnění norem dle standardů specifických pro tuto oblast (např. Formel Q od VW Group atd.). [7]



Obr. 9 Certifikáty a ocenění KBCZ [9]

### Výrobní hala a dispozice pracovišť v KBCZ

Závod Koyo Bearings Česká Republika s.r.o. se rozkládá na celkové ploše cca 35 ha. Disponuje jednou velkou výrobní halou, kde jsou soustředěny veškeré logistické a administrativní činnosti. Na leteckém pohledu lze vidět výrobní halu (Obr. 10), která se rozkládá na ploše cca 12 ha.

Současné rozmístění jednotlivých pracovišť a administrativních částí ve výrobní hale je znázorněno na schématu (Schéma 3). Mezi nejdůležitější části patří příjem materiálu a hlavní sklad hotových výrobků, dále pak soustružna a kalírna. Největší plochu zaujímá brusírna, která disponuje několika automatizovanými linkami, sestavenými dle požadavků zákazníka. Posledním krokem je montáž. Ostatní označené plochy jsou administrativní úseky či pomocná pracoviště pro výrobu. [9]



Obr. 10 Letecký pohled na Koyo Bearings Česká republika s.r.o. [9]

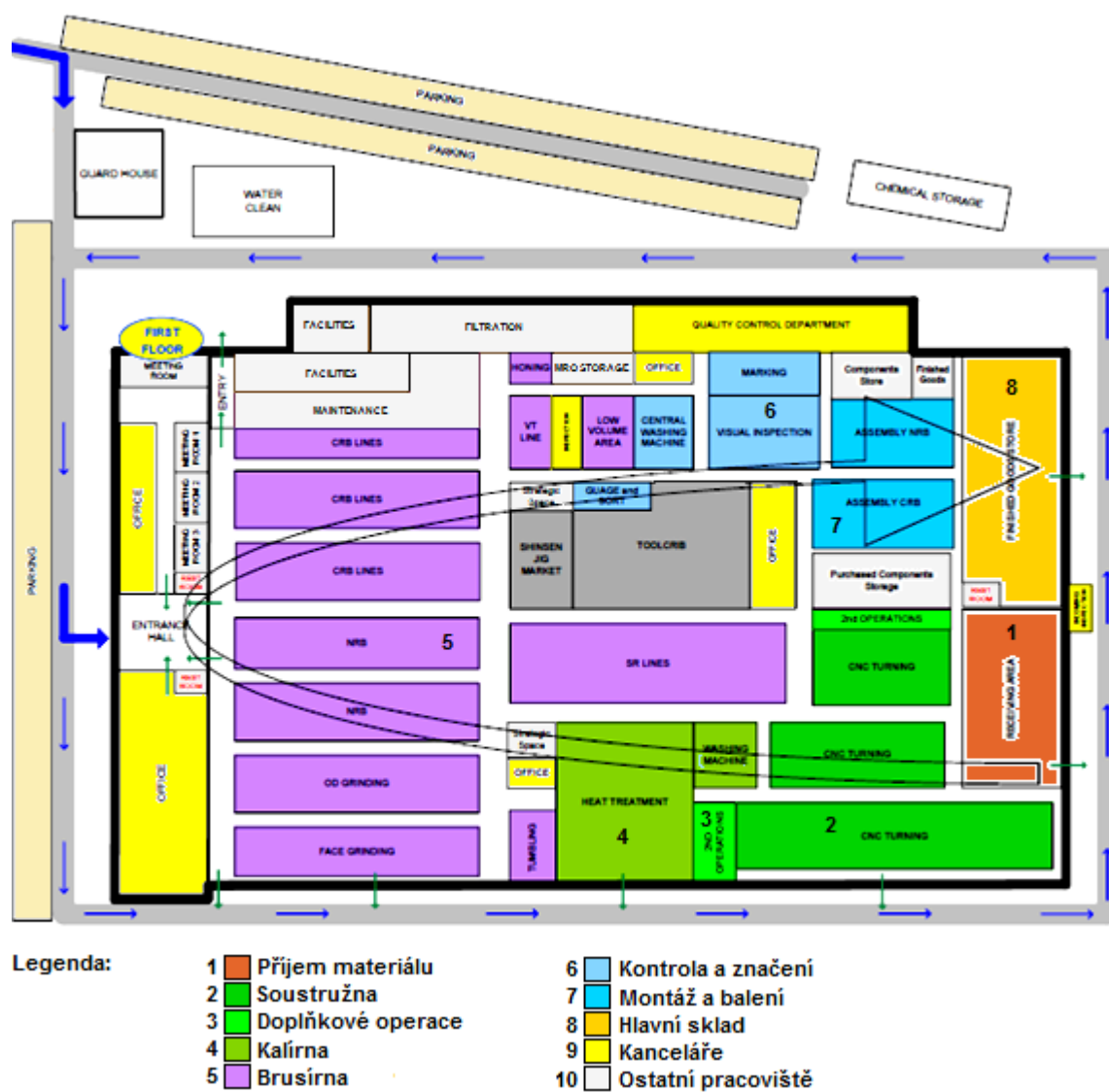


Schéma 3 Rozmístění jednotlivých pracovišť v KBCZ [9]



### 3 Analýza výrobního portfolia v podniku a procesu výroby ložisek

Kapitola obsahuje podrobný popis výrobního portfolia a uvádí přední zákazníky společnosti, kteří jsou zejména z oblasti automobilového průmyslu. Druhá část kapitoly popisuje jednotlivé procesy výroby ložisek a jejich kontrolu na pracovištích. Dále jsou uvedena schémata znázorňující jednotlivé technologické postupy při výrobě ložisek a jejich komponentů.

#### 3.1 Výrobní portfolio v podniku




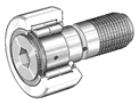



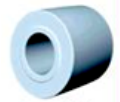
Hlavní výrobní program společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o. tvoří válečková ložiska, jehličková ložiska a kladky vahadel ventilů do dieselových motorů pro automobilový průmysl, strojírenství a poprodejní sektor.

Ložisko vyráběné v KBCZ se skládá z vnitřního kroužku, vnějšího kroužku a z valivých prvků (jehličky nebo válečky), které jsou dále umístěny v tzv. kleci. Olomoucký výrobní závod se zaměřuje na výrobu ložiskových kroužků a jejich montáž. Portfolio výrobků je znázorněno na obrázku (Obr. 11) a podrobný seznam vyráběných produktů včetně jejich obrázků je uveden v tabulce (Tab. 8).

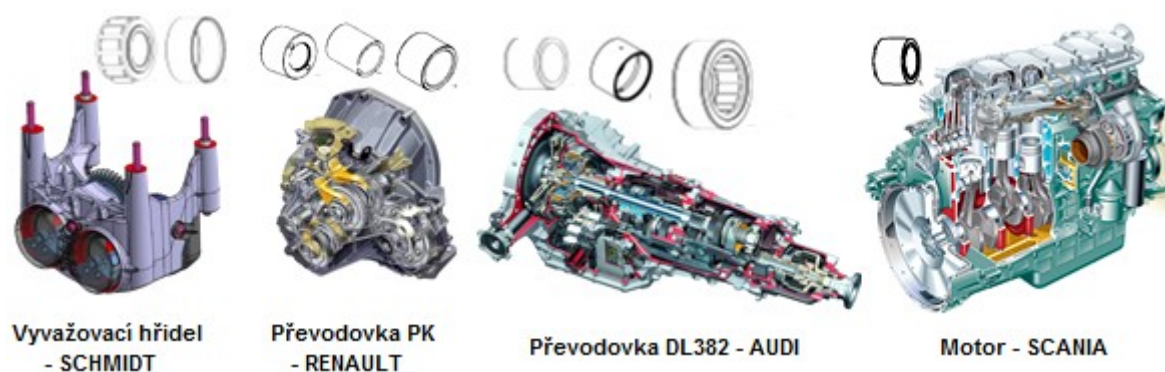


Obr. 11 Portfolio výrobků v KBCZ [7]

Tab. 8 Vyráběné produkty v KBCZ [9]

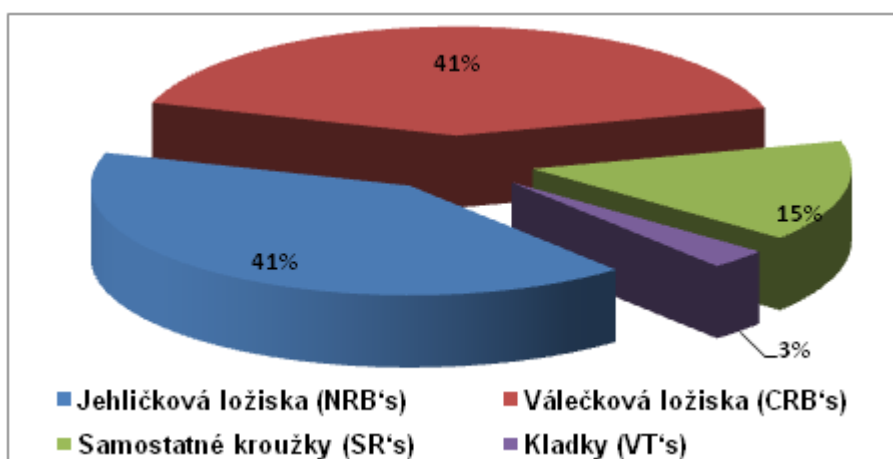
Přehled výrobků v KBCZ	
Jehličková ložiska – NRB's (Needle Roller Bearings)	
Maximální velikost: 200 mm	Minimální velikost: 6 mm
Jehličková ložiska	
Kombinovaná ložiska	
Axiální ložiska	
Ložiska do železničního průmyslu	
Válečková ložiska – CRB's (Cylindrical Roller Bearings)	
Maximální velikost: 120 mm	Minimální velikost: 20 mm
Válečková ložiska	
Válečková axiální ložiska	
Samostatné kroužky – RA's (Single Rings)	
Maximální velikost: 200 mm	Minimální velikost: 6 mm
Vnitřní kroužky – komponenty	
Kladky vahadel ventilů – VT's (Valve Tappets)	
Maximální velikost: 60 mm	Minimální velikost: 20 mm
Kladky vahadel ventilů	

Zákaznické spektrum je z největší části tvořeno automobilovým průmyslem (70 %) a zbylá část směřuje do ostatních průmyslových podniků (30 %). Produkty KBCZ (Obr. 12) jsou aplikovány do převodovek, motorů, startérů, systémů řízení, kol, brzd, vysokozdvížných vozíků, zemědělských a stavebních strojů, kompresorů a dalších zařízení.

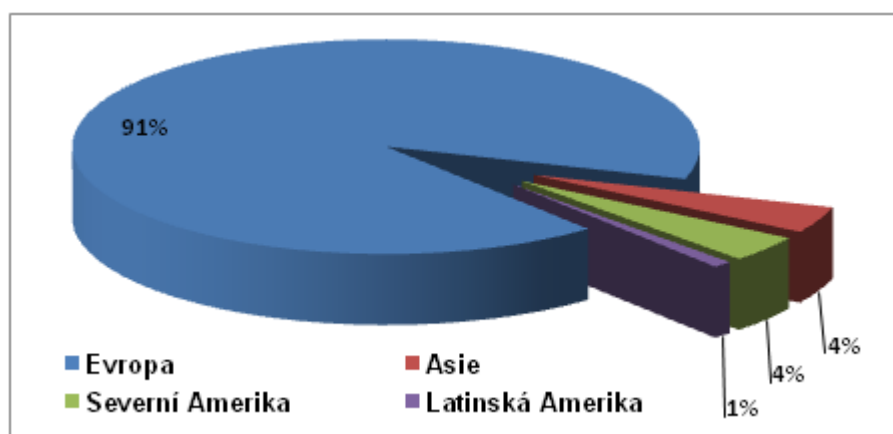


Obr. 12 Aplikace produktů KBCZ v automobilovém průmyslu [11]

Přesnější určení počtu vyrobených a prodaných druhů výrobků za rok 2015 v procentuálním vyjádření znázorňuje graf níže (Graf 1). Zákaznické portfolio (Graf 2) je z velké části tvořeno evropskými zákazníky. Podíl exportu do Evropy tvoří 91 % produkce, mezi největší exportní země v Evropě patří Německo, Itálie, Švédsko, Francie a Španělsko). [7] [9]



Graf 1 Přehled prodeje produktů za rok 2015 v % [9]



Graf 2 Export prodeje dle území za rok 2015 v % [9]

Na obrázku (Obr. 13) jsou znázorněna loga předních zákazníků z oblasti automobilového průmyslu. Mezi hlavní odběratele lze zařadit Renault Volkswagen, Škoda, Schmidt (koncový zákazník Daimler), Audi atd. Šipkami označená loga představují koncové uživatele.



Obr. 13 Hlavní zákazníci pro automobilový průmysl [9]

Obrázek níže (Obr. 14) znázorňuje zákazníky ostatního průmyslu. Mezi hlavní zákazníky lze zařadit: Robert Bosch, Deere & Company, Claas, Liebherr atd.



Obr. 14 Hlavní zákazníci ostatního průmyslu [9]



### 3.2 Analýza procesu výroby ložisek

Koyo Bearings Česká republika s.r.o. se zaměřuje na výrobu ložiskových kroužků a následnou montáž samotných ložisek. Vnitřní a vnější kroužky ložisek se vyrábějí pomocí několika technologických operací. Jednotlivé operace jsou popsány v této kapitole a na schématu 4 je znázorněn postup procesu výroby ložisek.

Pro analýzu procesu výroby ložisek byl na oddělení kvality k dispozici podrobný vývojový diagram výroby vnějšího kroužku, který znázorňuje proces výroby válečkového ložiska. Tento vývojový diagram je obsažen v Technické zprávě [12]

Každá výrobní dávka má na svém začátku vygenerovanou výrobní dokumentaci. Tato dokumentace obsahuje:

- **výrobní příkaz** – obsahuje číslo zakázky, typ dílu, množství kusů, způsob balení a přehled jednotlivých výrobních kroků, které mají být provedeny. Do výrobního příkazu operátoři provádějí po ukončení operace záznam o počtu dobrých a zmetkových kusů. Jednotlivé operace jsou odepisovány také v informačním systému závodu - Oracle. Bez tohoto zápisu nelze zakázku postoupit k operaci následující – tzn. je zde zajištěna následnost výrobních kroků a je zamezeno přeskočení operace,
- **platný výkres pro daný stupeň výroby** – rozlišuje se výkres pro soustružení (v měkkém stavu – koncovka .D40), kalení (koncovka .D50), brusírenský (ve tvrdém stavu, již kalený materiál – koncovka .D81) a finálový výkres výrobku (finální parametry dílu kontrolované výstupní kontrolou – koncovka .D85). Na výrobních výkresech jsou zaznamenány zvláštní znaky. Zvláštní znak na výkresu je definován zákazníkem nebo vývojovým týmem a musí být zanesen i do kontrolního plánu dílu. Podmínky k těmto znakům vyplývají ze specifických požadavků zákazníka (způsobilosti, četnosti kontrol atd.) a musí se dodržovat. Výrobní výkres je znázorněn v Technické zprávě [12].
- **kontrolní plán** – definuje kontrolní operace pro seřizovače a operátora, tzn. kontrolované parametry, počet kusů a frekvenci měření, odkaz na dokumentaci popisující metodu a rovněž i reakci v případě zjištění neshody. Ukázka kontrolního plánu je zobrazena na obrázku (Obr. 15).

Kopie: 1/1 Tisk 13.02.2017 Marek Gajdošík Strana: 3/7  
Množství: 55 Zakázka: 586815 Položka: SPIN.UF-608-678.M41\*-----\* D500 N.COM  
Dílčí množství: 55 Product VS: NRB / Process VS: UNKNOWN/Process P: UNKNOWN  
Max. počet ks v Schaefer bedně :24  
Max. počet ks v KLT :13  
Oper Zdroj  
Popis výrobního postupu Str/Os. Ks/H Seřiz/M Dobré kusy Zmetky Datum Os.Č.

Seřizil/Datum \_\_\_\_\_ Operátor/Datum \_\_\_\_\_  
Seřizil/Datum \_\_\_\_\_ Operátor/Datum \_\_\_\_\_  
Seřizil/Datum \_\_\_\_\_ Operátor/Datum \_\_\_\_\_  
Seřizil/Datum \_\_\_\_\_ Operátor/Datum \_\_\_\_\_ CP/CPK \_\_\_\_\_

SB10  
285 13312-030M FAMAR  
DR01 OP: SOUSTRUŽENÍ NA JEDNO UPNUTÍ - OPRAVA STŘEDČÍHO DŮLKU  
-IN FO J.ČAPEK

U1  
290 13670-001M OVERBECK  
SRIN BROUSENÍ OBŘEZK DRÁHY / ( DŘÍKU ) Kde? 1: 3 100 60 Jak?

Provedl	Popis	Krit.	Vzor	Četnost	Měřidlo	Metoda	Reakce
seřizovač	průměr oběžné dráhy A	Ano	1 ks	seřizovač	LD měřidlo vnější pro měření dia 0M-00-101 SPC	seřizování stroje	
seřizovač	průměr oběžné dráhy B	Ano	1 ks	seřizovač	LD měřidlo vnější pro měření dia 0M-00-101 SPC	seřizování stroje	
seřizovač	vnější	Ne			LD měřidlo vnější pro měření dia 0M-00-101 SPC	seřizování stroje	
seřizovač	rovnoběžnost oběžné dráhy	Ne			LD měřidlo vnější pro měření dia 0M-00-101 SPC	seřizování stroje	
seřizovač	přímota oběžné dráhy A-B	Ano	1 ks	seřizovač	LD měřidlo vnější pro měření dia 0M-00-112 SPC	seřizování stroje	
seřizovač	kruhovitost oběžné dráhy	Ano	1 ks	seřizovač	LD měřidlo vnější pro měření dia 0M-00-111 SPC	seřizování stroje	
seřizovač	kruhovitost oběžné dráhy	Ano	1 ks	seřizovač	LD měřidlo vnější pro měření dia 0M-00-111 SPC	seřizování stroje	

Kdo? Co? Jak často? Čím? Záznam? Co dělat v případě vady?

Obr. 15 Struktura kontrolního plánu [11]

Kontrola komponentů probíhá v každém článku výrobního řetězce, vstupní a výstupní kontroly jsou jedny z nejdůležitějších. Snahou je co nejdříve odhalit možné vady, z důvodu minimalizování finančních prostředků na výrobu a zabránění případným komplikacím. Ke kontrole v podniku se například využívají signalizační zařízení, metoda Poka-Yoke, měřidla SPC atd. Důležité je také důkladné proškolení pracovníka.

### 1) Příjem materiálu a vstupní kontrola

Příjem materiálu a vstupní kontrola probíhá na dodávaných trubkách, dílech z kooperace (externí soustružení, kalení, výkovky) a nakupovaných komponentech.

#### a) Příjem trubek

Do KBCZ jsou dodávány bezešvé trubky společně s certifikáty, popisující strukturu materiálu. Informace z příloženého certifikátu jsou kontrolovány dle interních tabulek. Následně je materiál v systému Oracle uvolněn pro výrobu. Jednou za šest měsíců probíhá externí laboratorní kontrola složení materiálu na vzorku od každého dodavatele. V případě neshod jsou trubky dále kontrolovány z hlediska vnitřního pnutí, tvaru i tvrdosti prostřednictvím interní metalografické laboratoře.

Uvolněný materiál je vyskládněn a vychystán na předem určený typ soustruhu. Podle této informace je v rámci interní logistiky dodáván k určenému stroji.

Vady materiálu (např. kontaminace) mohou způsobit poničení ucpávek či praskání obráběcích plátků s projevy na soustruženém dílu. Dalším problémem mohou být rozměrové vady a tvarové deformace, což vede k vibracím stroje při obrábění s následným projevem na parametru kruhovitosti kroužku.

### ***b) Díly z kooperací***

V příjmovém skladu (Obr. 16) jsou díly dodané z kooperací označeny barevnými kužely, které znázorňují aktuální stav přijatého materiálu (díly určené ke kontrole – oranžová barva, aktuálně probíhající vstupní kontrola – žlutá barva či díly uvolněné po vstupní kontrole - zelená).



*Obr. 16 Příjem materiálu v KBCZ*

## **2) Soustružna**

První technologickou operací tvoří soustružení (tzv. třískové obrábění ložiskových kroužků). Soustružení je prováděno na CNC soustruzích, na kterých se z bezešvých trubek nebo tyčí vysoustruží požadované rozměry a tvary. Jednou z nejnovějších metod je soustružení „za tvrda“, které probíhá po kalení, kdy je obráběn tvrdý materiál za vysoké teploty.

Hlavními sledovanými parametry při soustružení jsou vnitřní, vnější průměr a šířka kroužku. Jejich kontrola probíhá pravidelným měřením se záznamem do regulačních karet nebo měřících jednotek (Intronix) pro sledování trendu a způsobilosti procesu (SPC). Mezi ostatní měřené parametry patří tzv. „Detail X“, který je souhrnem radiusů a rozměrů

definujících tvar kroužku a dává přehled o přesnosti nastavení obráběcího stroje a tvarovacích nožů.

Některé plochy, u vybraných druhů ložisek, se dále neopracovávají a jsou konečné (požadována vysoká kvalita a přesnost).

Pro zahájení výrobního procesu jsou definovány úkony, které seřizovač musí zajistit a potvrdit v rámci seřízení. Kontrolní plán udává parametry nutné ke schválení seřízení. Každé pracoviště je vybaveno měřicími prostředky (jejich kontrola a ověření platnosti kalibrace probíhá vždy na začátku směny). Pro sledování hlavních parametrů obrobku jsou nainstalovány měřicí zařízení k automatickému záznamu a ukládání náměrů a vyhodnocení trendu procesu (SPC metoda). V nastaveném intervalu – např. jednou za 20 min – je ověřena způsobilost 4 obrobených součástí. V případě neshodného náměru je dávka od předchozího měření oddělena a zablokována pro 100 % přeměření veškerých dílů.

Jednou z metod, využívaných ke kontrole šířky dílu, jsou přípravky Poka-Yoke, (malé kusy přípravkem propadnou do červené bedny a velké nelze do přípravku vložit).

Mezi vady vzniklé při obrobení součásti patří zejména nedodržení požadovaných rozměrů, vizuální vady soustruženého povrchu (vmáčkнутé špony), nedodržení požadovaného sražení na vnitřním/vnější průměru kroužku. Jejich následkem je ztížení podmínek v následujících operacích – např. pokud je vnější průměr větší, při operaci broušení vnějšího průměru bude zapotřebí zajistit průchod navíc (vzhledem k většímu přídávku materiálu). V případě, že je vnější průměr menší, pak je díl nepoužitelný a je řazen mezi zmetky.

Kvalita obrábění (drsnost soustruženého povrchu, vizuální parametry) je dána stavem obráběcích plátků (životnost cca 400 kusů), při poničení (zlomení) či opotřebení (dosažení počtu obrobených součástí) je stroj automaticky zastaven a je provedena jejich výměna. Následně je měřením ověřeno, že požadované parametry jsou vyhovující.

Na kvalitu obrábění má značný vliv i stav strojů. V rámci preventivní a prediktivní údržby probíhá kontrola stavu strojů a ročně je sledována jejich způsobilost.

V roce 2016 společnost investovala do nových strojů. Při zavádění nových strojů je vždy dodržován postup k ověření způsobilosti stroje (před přejímku u dodavatele), přejímka (způsobilost po převozu a umístění stroje na výrobní pozici) a následně krátkodobá a dlouhodobá způsobilost procesu. Soustružna a CNC soustruhy jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 17).



Obr. 17 Pracoviště soustružny v KBCZ

### 3) *Doplňkové operace po soustružení*

Mezi doplňkové metody lze zařadit vrtání mazacích otvorů, frézování, protahování, omílání a dokončování výrobních detailů.

Vrtání otvorů pro mazání ložiska provádí automatická vrtačka, kontrola otvorů se provádí co 20 min. Rovněž je vrtačka vybavena přípravkem na detekci zlomení vrtáku. Počet otvorů je definován výkresem (většinou 1 až 3 otvory). Lze vyvrtat všechny otvory současně s následným zahloubením. Stroj provádí automatickou kontrolu počtu vyvrtaných děr. Dalším kontrolovaným parametrem je souosost a průměry vrtaných děr. Po těchto operacích je kontrolována kruhovitost, rovnoběžnost a případné házení.

### 4) *Kalírna*

Ze soustružny jsou polotovary přepraveny do kalírny, kde probíhá tepelné zpracování. Kalírna disponuje automatickou linkou a její chod kontrolují příslušní pracovníci. Schéma automatizované linky je uvedeno v Technické zprávě [12].

Připravené kroužky jsou vyprány a následně prochází fází sušení. Cílem čištění dílů je předejít usazení veškerých nečistot, nežádoucích při následných operacích (např. hrozí zapečení nečistot při kalení). Koncentrace v pračce je denně sledována pro zajištění efektivního procesu.

Umístění kroužků do košů probíhá dle typu a hmotnosti dílu (nasypané nebo poskládané). Každý díl má již nadefinovaný „program“ pro kalení, kde kromě teplot jednotlivých fází kalení je definován i způsob uložení do koše, nutnost použití proložek, popř. distančních kroužků k zajištění oddělení jednotlivých vrstev. Nedodržení



stanoveného postupu má za následek nedostatečné prokalení, spálení a tvarové deformace.

Při samotném kalení jsou ložiska zahřívána až na 850 °C (Obr. 18). Pec disponuje třemi zónami (předehřev, výdrž na teplotě a zóna výstupní). Procesní parametry jsou monitorovány a průběžná kontrola pece je prováděna sondou nebo fóliovou zkouškou.



*Obr. 18 Koš s komponenty před vstupem do kalící pece – kalírna*

Následuje krok chlazení po kalení. Probíhá v kalícím médiu, které musí mít určitou teplotu a je nebezpečné vůči okolí (výbušná směs). Nevhodné médium má za následek problémy strukturální, tvarové deformace atd.

Z důvodu ekologického vlivu jsou komponenty po kalícím médiu následně vyprány.

Posledním krokem je popouštění pro získání houževnatosti a stability rozměrů. Popouštění má tři zóny a je třeba dodržet požadovanou teplotu, z důvodu vlivu na křehkost, tvrdost, prasknutí, deformace atd.

Každá zakázka je ověřena na třech vzorcích odebraných z prvního, prostředního a posledního koše. Předmětem ověření je kontrola tvrdosti a mikrostruktury. Záznamy o uvolnění po operaci kalení jsou zakládány do databáze systému Palstat.

## 5) Brusírna

Broušení ložisek probíhá v následujících krocích: broušení čel, broušení vnějšího průměru, broušení otvoru (vnitřní průměr).

Brusírna (Obr. 19) disponuje samostatnými bruskami (broušení čel a vnějšího průměru), dále i automatizovanými linkami, sestavenými dle požadavků zákazníků, na kterých je prováděna většina dokončovacích operací. Po broušení čel a vnějších průměrů (OD) následuje broušení vnitřních průměrů (ID), honování (tzn. přehlazení povrchu pro dosažení parametru drsnosti), které zlepšuje mikrogeometrii a minimalizuje hlučnost ložiska ve finálním smontovaném stavu.

Po seřízení brusky je vždy součástí uvolnění procesu zkouška leptání k ověření, zda nedochází k pálení dílu broušením.

V případě montáže je na konci linky každé ložisko podrobeno kontrole hlučnosti, následné konzervaci a balení, např. automatizovaná linka pro zákazníka Daimler. Schéma automatizované linky pro zákazníka Daimler je uvedeno v Technické zprávě [12].

K broušení čelních ploch jsou používány horizontální či vertikální brusky. Kontrola komponentů se provádí co 5 minut, kde je kontrolována rovnoběžnost, drsnost a vizuální vzhled.

U broušení OD je nejprve prováděno hrubování a poté broušení na konečný rozměr. Bruska je opatřena dvěma kotouči, kdy jeden kotouč je přitlačný a druhý brousící.



Obr. 19 Automatizovaná linka na brusírně

## 6) Výstupní kontrola

Výstupní kontrolou prochází všechny zakázky. Jsou ověřovány veškeré parametry definované finálním výkresem (D85). Na základě výsledků měření je rozhodnuto o uvolnění nebo naopak o zablokování zakázky. Záznamy o uvolnění jsou zadány do databáze systému Palstat. V případě zablokování zakázky je definován interní postup – směrnice Řízení neshodného dílu, která stanovuje odpovědnosti osob a činnosti pro následné řízení neshodných dílů (opravy, scrap).

## 7) Montáž a balení

U vybraných ložisek představuje montáž (Obr. 20) závěrečnou etapu výroby. Pomocí ložiskové klece (kovová či plastová) a valivých částí (válečků nebo jehliček), vyráběných v sesterských závodech, jsou komponenty smontovány a tvoří jeden celek.

Smontovaná a zkontrolovaná ložiska jsou zabalena do předem určených balících jednotek, opatřena štítky podle požadavků zákazníka. Po dokončení posledního balení proběhne kontrola kompletnosti zakázky, zaúčtování v systému a následně je hotová zakázka přepravena do skladu hotových výrobků pro expedici.



Obr. 20 Pracoviště montáže a balení



### 8) *Hlavní sklad*

Hotová ložiska jsou uložena na skladě v určených lokátorech. Evidence je řízena systémem Oracle, který rovněž zajišťuje přehled k expedování zakázek v rámci plnění FIFO (First in, first out). Sklad hotových výrobků lze vidět na obrázku 21.

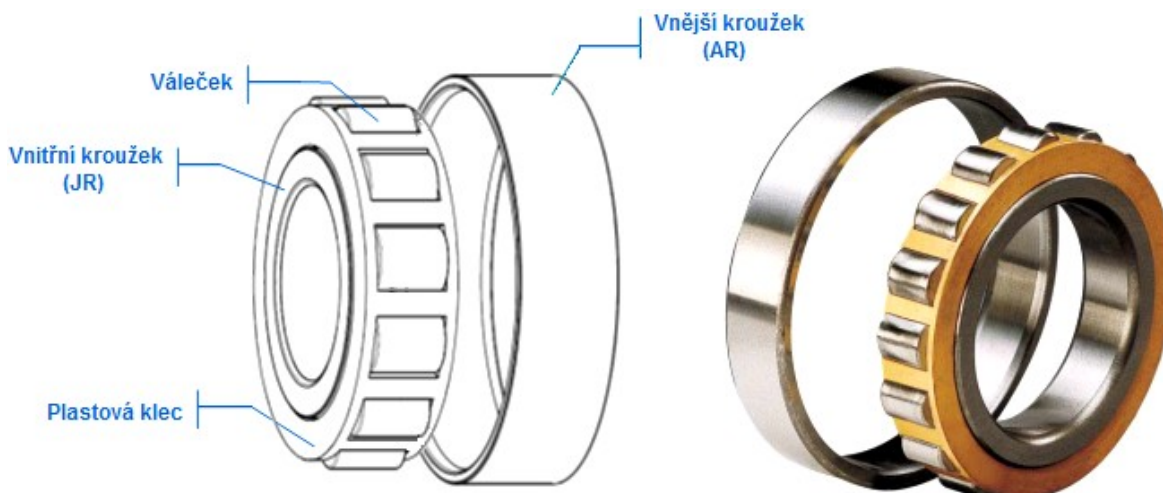


*Obr. 21 Sklad hotových výrobků*

## 4 Vyhodnocení analýzy vad a aplikace metody PFMEA

Vzhledem k širokému výrobnímu sortimentu bylo členy týmu FMEA rozhodnuto, že analýza vad, potřebná pro sestavení PFMEA, byla provedena pro válečková ložiska (CRB's). Tato ložiska patří svým objemem výroby mezi nejrozšířenější a jsou pro podnik stěžejním výrobkem. Výrobní postupy jednotlivých druhů ložisek se od sebe prakticky neliší. Válečkové ložisko (CRB) a jeho jednotlivé komponenty jsou zobrazeny a popsány na obrázku (Obr. 22).

Analýza vad a vytvoření PFMEA pro válečková ložiska představuje základ pro vytvoření generické PFMEA, kterou lze využít a aplikovat pro veškeré výrobní portfolio podniku. Dokument PFMEA je velice citlivý dokument, který obsahuje veškeré know-how firmy a proto není sdílen s veřejností. Zákazník může v rámci návštěvy ve výrobním závodu nahlédnout do FMEA pro své komponenty.



Obr. 22 Komponenty válečkového ložiska (CRB) [11]

Pro vyhodnocení vyskytujících se vad ve výrobě bylo nejprve třeba sesbírat veškerá zaznamenaná data v podniku za určité období. Dodaná data byla zpracována, upravena a sepsána do přehledné tabulky, která umožnila vyhodnocení výskytu jednotlivých druhů vad pro dané komponenty. Veškeré výsledky vyhodnocených dat byly následně zobrazeny v grafu.

### 4.1 Analýza vad v procesu výroby ložisek

Tým FMEA sestávající ze zástupců kvality, procesního inženýrství, logistiky a výroby sesbíral veškerá data, týkající se výskytu vad při výrobě válečkových ložisek

na jednotlivých výrobních procesech za rok 2016. Pro vyhodnocení analýzy byly k dispozici interní materiály zejména z oddělení kvality.

Materiály bylo nejprve nutné zpracovat do podoby, ze které budou patrné druhy a počty jednotlivých vad, vyskytujících se ve výrobě.

*Materiály, které byly k dispozici pro analýzu výskytu vad, jsou obsaženy níže:*

- DFMEA,
- současná PFMEA,
- výrobní výkresy,
- zprávy o průběhu směn 2016,
- 4D zprávy o řešení interních problémů (4 Discipline report – zkrácená verze 8D reportu, využívaná pro řešení interních reklamací),
- kontrolní plány,
- zákaznické reklamace (8D reporty).

**DFMEA** – jedním z poskytnutých materiálů pro analýzu vad byla současná DFMEA uvedená v Technické zprávě [12], kterou zpracovala německá lokace KBDE. Tato FMEA produktu je analýzou možných způsobů a důsledků poruch při návrhu produktu (ložiska).

**Současná PFMEA** – nesplňovala v podniku svou funkci, a to především z důvodu její neúplnosti. Procesní FMEA nebyla aktualizována, o čem vypovídá i malé množství uvažovaných vad v procesu. Vypsání vad, příčiny a důsledky ve formuláři byly příliš obecné, chyběly podrobnější a jasnější definice.

Personálně aktualizovaná PFMEA byla vytvořena v KBCZ pomocí systému pro řízení kvality Palstat CAQ. Ukázka současné PFMEA je obsažena v Technické zprávě [12].

**Zprávy o průběhu směn za rok 2016** – byly k dispozici v programu Excel pro zpracování výskytu vad za rok 2016, obsahovaly informace týkající se různých problémů zaznamenaných ve výrobě, jako například: datum, pracoviště, stroj, materiál, číslo zakázky, vada, popis vady, okamžitá opatření, počet posuzovaných kusů atd. Vzhledem k tomu, že tyto informace nebyly zapsané jednotnou formou, bylo třeba veškeré zápisy přepsat a roztrždit do určité podoby pro následná vyhodnocení. Zpráva o průběhu směn za rok 2016 byla zpracována v Technické zprávě [12].

**4D zprávy o řešení interních problémů** – jsou vedeny v programu Excel pro vady, které se v podniku vyskytují ve větším množství a způsobují vysoké náklady. Informace 4D obsahují například: datum, materiál, pracoviště, stroj, číslo zakázky, počet kusů, cenu, problém, popis problému, příčinu, nápravná opatření atd.

Záznamy 4D navíc obsahují formuláře pro řešení vzniklých problémů. Formulář obsahuje základní popis vzniklého problému a následné využití metody 5x proč, která je využívána pro zjištění skutečné základní příčiny, dále je zde využito také diagram příčin a následků (tzv. Ishikawa diagram), který pomáhá nalézt příčiny a následky vzniklých vad. Formulář také obsahuje záznam okamžitého opatření a otázky týkající se kvalitativních problémů. Formulář 4D je pro ukázkou obsažen v Technické zprávě [12].

**Zákaznické reklamace (8D reporty)** – jsou uvedeny pro rok 2016. Graf počtu výskytu jednotlivých druhů reklamací byl sestaven pomocí Paretova pravidla. Největší počet reklamací za rok 2016 tvoří vnitřní průměr (ID) mimo specifikaci a vynechané operace při výrobě. Další část tvoří chybějící značení, záměna dílů a nedobroušený vnitřní průměr.

Dále byla k dispozici tabulka pro přehled zákaznických reklamací za rok 2016, obsahující typ reklamace, popis vzniklého problému a zákazníka, jenž tento problém reklamoval. Tato tabulka je obsažena v Technické zprávě [12].

V KBCZ se reklamace třídí dle závažnosti do tří kategorií, a to na klasické reklamace (významný dopad u zákazníka), upozornění na vady (bez dopadu na aplikaci zákazníka) a na interní reklamace, jejichž řešení probíhají v rámci sesterských závodů. Největší podíl v grafu reklamací tvoří vnitřní průměr (ID) mimo specifikaci (43 %), ostatní reklamace jsou téměř vyvážené (14 %).

Reklamace upozornění a interní reklamace jsou svým procentuálním vyjádřením podobné. U reklamací upozornění má největší podíl za rok 2016 chybějící značení (40 %) a funkční vada, chybějící díly, záměna dílů tvoří 20 % výskytu.

U interních reklamací v rámci sesterských závodů tvoří největší podíl výskytu chybějící operace (33 %). Další vady, které se vyskytují interně, jsou zejména vady týkající se vnitřního průměru (ID).

## 4.2 Vyhodnocení analýzy vad

Na základě upravení vstupních materiálů byly vyhodnoceny vady vyskytující se za rok 2016 při výrobě jednotlivých komponentů válečkových ložisek (CRB). Analýza vad byla provedena na pracovištích soustružny, kalírny, brusírny a byla provedena u komponentů s označením:

- AR (vnější kroužek),
- JR (vnitřní kroužek),
- RA (samostatný kroužek),
- VT (kladka vahadla ventilu).

Postup při vyhodnocování analýzy vad (Schéma 4) probíhal úpravou všech dodaných materiálů do podoby, ze které bylo následně možné sestavit výslednou analýzu. Pro lepší představu vyskytujících se vad byl dále vytvořen jejich vizuální přehled. Výstupem analýzy byly získané informace, které dále sloužili pro vytvoření generické procesní FMEA.

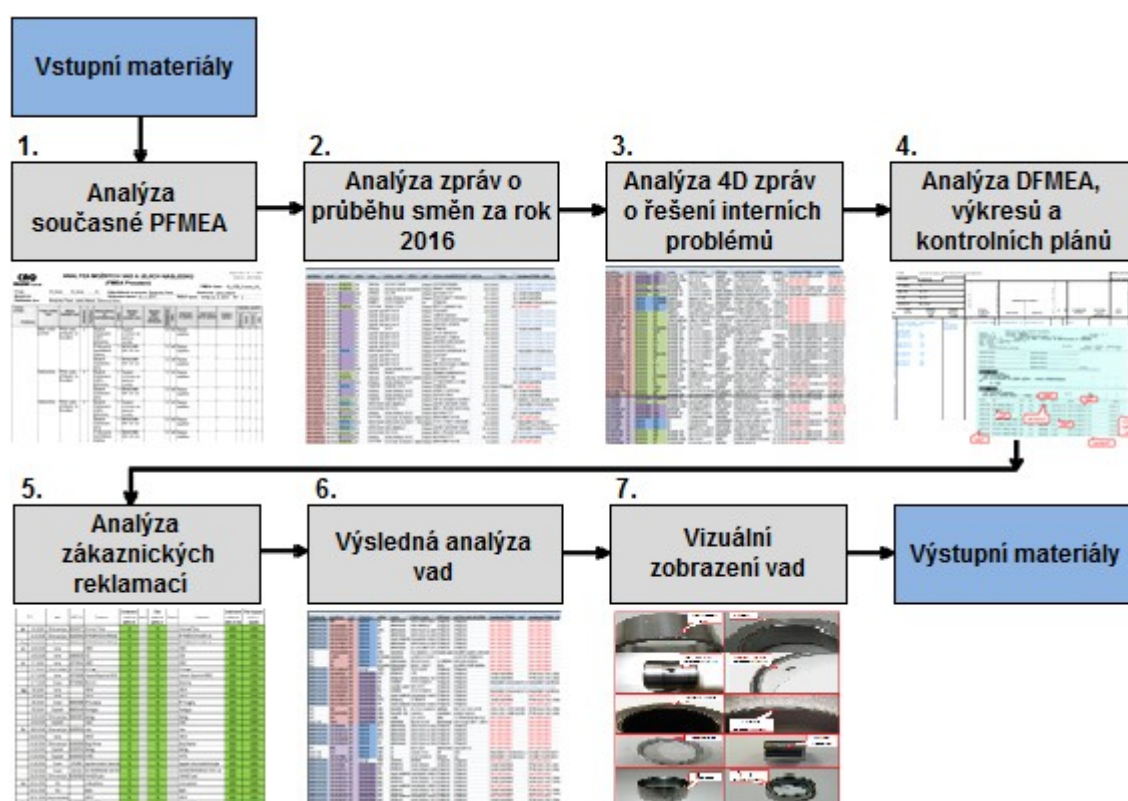


Schéma 4 Postup vyhodnocení analýzy vad

**Zprávy o průběhu směn za rok 2016** – analýza provedena v programu Excel, kdy problém výskytu vad byl rozdělen na vstupní a výrobní nekvalitu. Dále byly veškeré informace ve sloupcích upraveny a sjednoceny dle příbuznosti. Výskyt jednotlivých vad vznikajících během směn za rok 2016 a ukázka vyhodnocené tabulky jsou obsaženy v Technické zprávě [12].

Z grafu je patrné, že největší podíl vad u průběhu směn 2016 způsobuje:

- kruhovitost – 16 %,
- deformace – 8 %,
- přídavky (malé/velké) – 8 %,
- rozměr -OD – 7 %,
- rozměr -kant – 6 %,
- drsnost – 5 %,
- přímmost – 5 %,
- spálený materiál – 5 %.

**4D zprávy o řešení interních problémů** – analýza 4D vedená v programu Excel probíhala nejprve úpravou informací a sjednocením zápisů pro jejich vyhodnocení. Informace byly seřazeny dle materiálu, pracoviště a stroje, na kterém se tyto vady vyskytují. Dále tabulka popisuje jednotlivé typy vad, jejich popisy, příčiny a nápravné opatření. Tabulka dále obsahuje informace, jak jsou tyto vady řešeny v současné PFMEA. Zpracovaná tabulka 4D a výskyt jednotlivých vad v analýze 4D jsou obsaženy v Technické zprávě [12].

Z grafu je patrné, že největší podíl vad podle 4D v roce 2016 způsobuje:

- rozměr ID – 28 %,
- rozměr OD- 16 %,
- rozměr -kant – 8 %,
- kruhovitost – 6 %,
- geometrie – 6 %,
- rozměr -šířka – 5 %.

#### 4.2.1 Výsledná analýza vad

Vzhledem k tomu, že některé vady obsažené ve 4D se opakují i ve Zprávách ze směn 2016, bylo nutné vytvořit výslednou analýzu, která bude zahrnovat sloučení a úpravu těchto dvou zdrojů. Výsledná analýza byla dále doplněna o informace z ostatních materiálů, které byly k dispozici pro analýzu výskytu vad (výkresy, kontrolní plány, zákaznické reklamace). Na základě této analýzy byl zjištěn celkový výskyt jednotlivých druhů vad u posuzovaných komponentů vyskytujících ve výrobě na daných pracovištích.

Výsledná tabulka analýzy obsahuje sloupce pod názvem: materiál (AR, JR, RA, VT), číslo zakázky, zdroj problému (soustružna, kalírna, brusírna), stroj, vadu, popis vady, okamžitá opatření, datum atd. Do tabulky byly dále zapsány informace, jakým způsobem jsou vady řešeny v současné PFMEA, sloupce: současná FMEA – vada, příčina a důsledek.

Výsledná tabulka analýzy a graf popisující procentuální výskyt jednotlivých typů vad vzniklých při výrobě válečkových ložisek za rok 2016 jsou znázorněny v Technické zprávě [12].

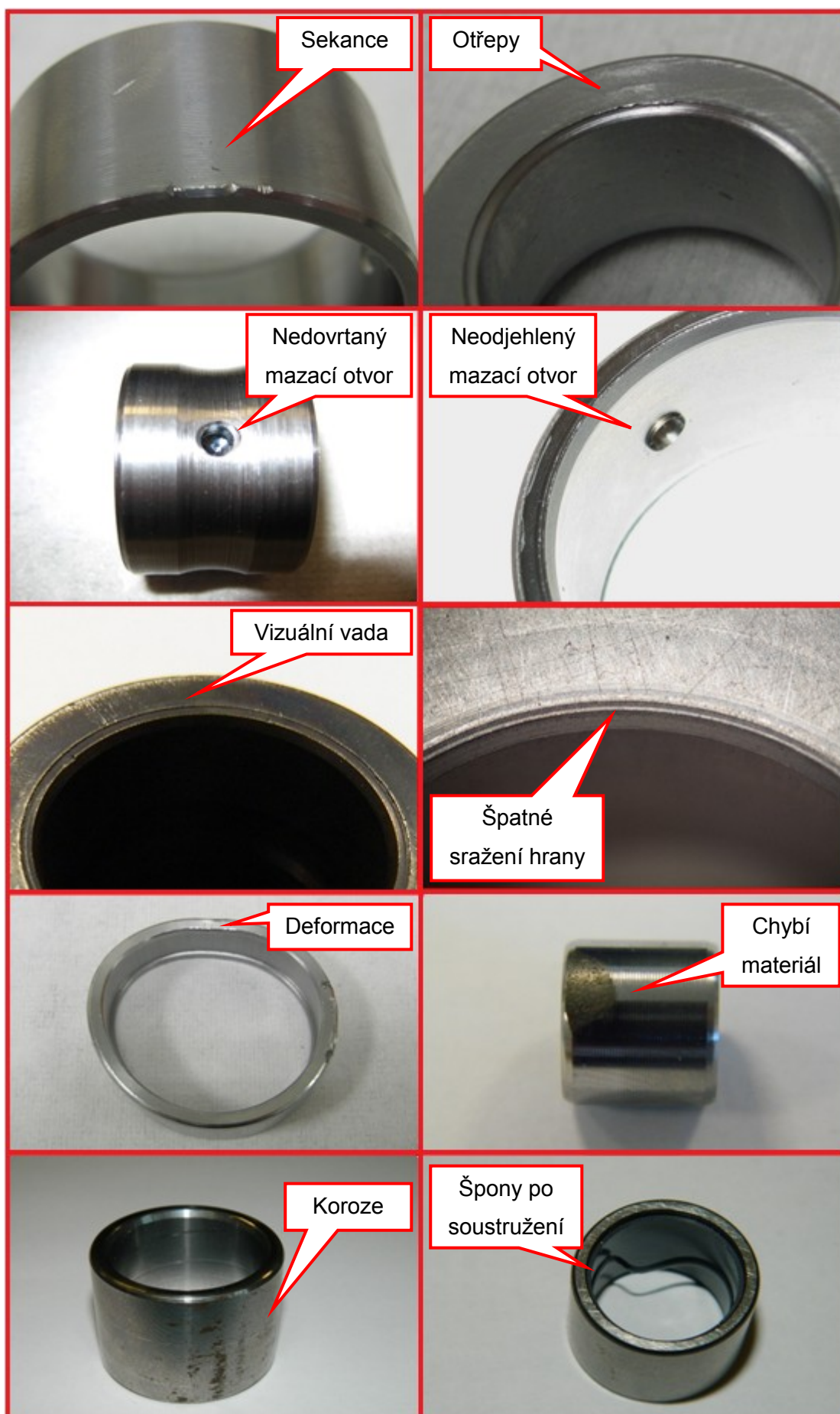
Z vytvořeného grafu je patrné, že největší podíl vad podle výsledné analýzy způsobuje:

- rozměr -ID – 10 %,
- deformace – 8 %,
- rozměr -OD- 7 %,
- přídavky – 7 %,
- vizuální vada – 7 %,
- chybí materiál – 7 %.

#### 4.1 Vizuální zobrazení vad

V této části kapitoly jsou obsaženy obrázky a popisy základních vizuálních vad vyskytujících se u jednotlivých komponentů. Na obrázku (Obr. 23) jsou červeně vyznačeny a popsány nepřipustné vady vyskytující se ve výrobě.

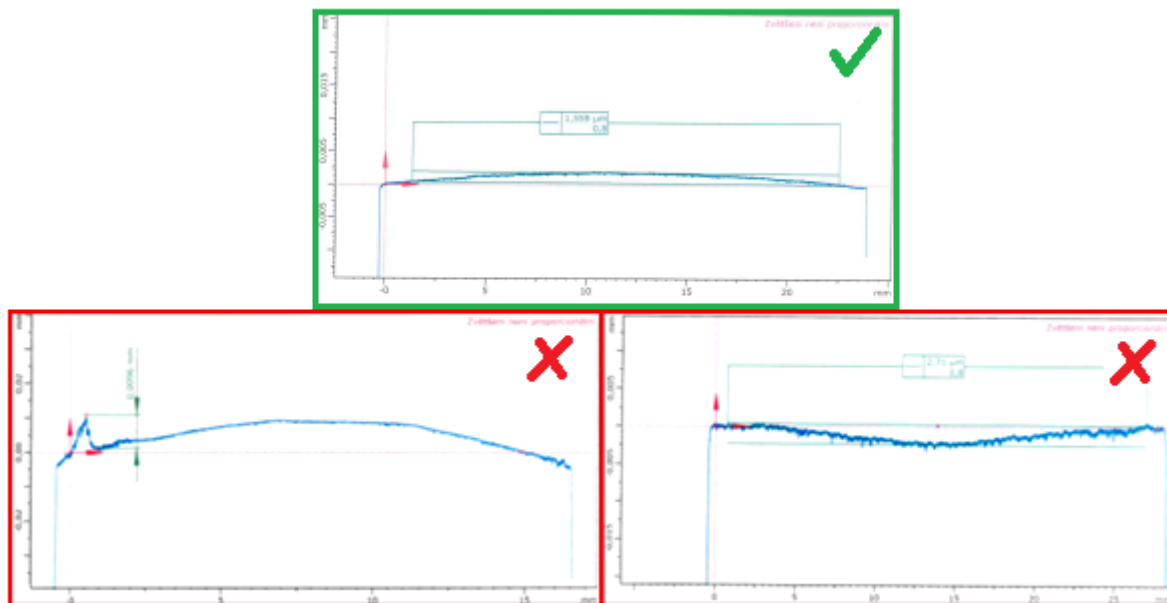




Obr. 23 Vizuální zobrazení vyskytujících se vad

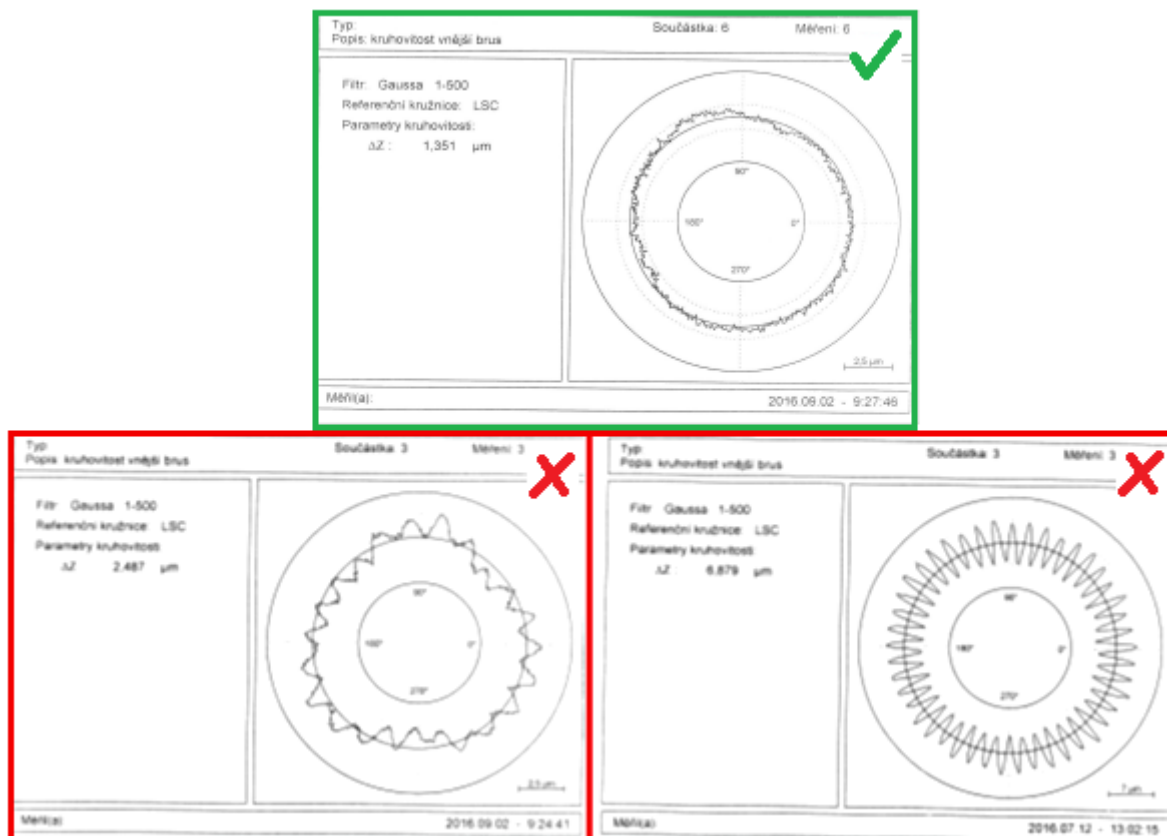


**Tvar přímosti** – musí být rovný nebo mírně vypouklý po celé broušené ploše, popřípadě dle výkresu. Nepřípustné tvary přímosti jsou vidět na obrázku (Obr. 24).



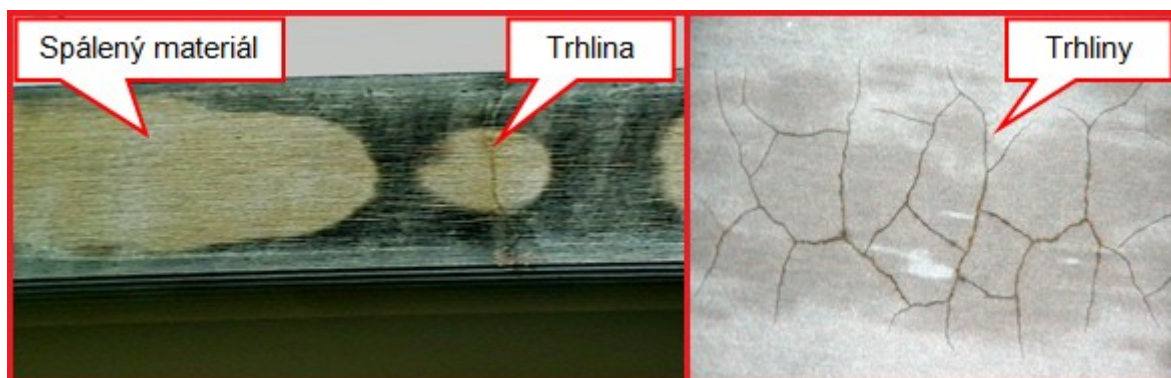
Obr. 24 Nepřípustné tvary přímosti [11]

**Tvar kruhovitosti** – musí být plynulý a kruhový, nesmí být ve tvaru hvězdice, tisícihranu nebo „brambory“. Nepřípustné tvary jsou znázorněny níže (Obr. 25).



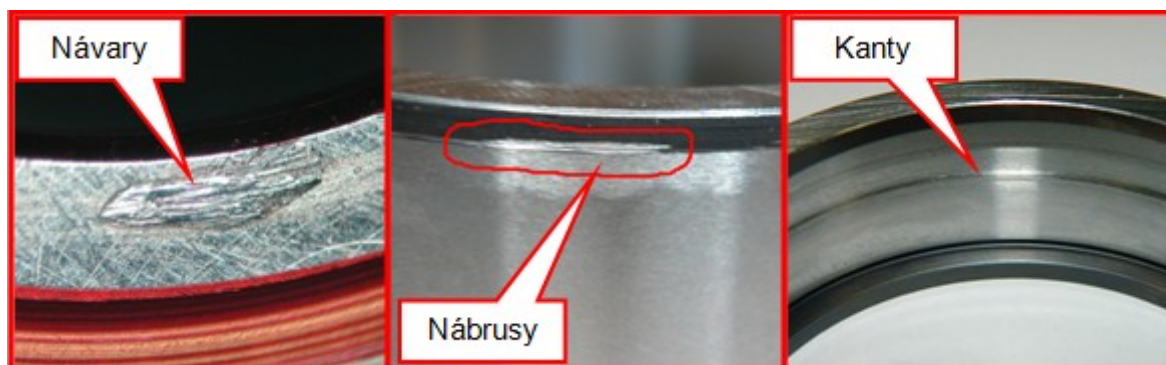
Obr. 25 Nepřípustné tvary kruhovitosti [11]

**Spálený materiál a trhliny** – nepřipustné kusy spáleného materiálu včetně trhlín a vyhrátého broušeného povrchu znázorňuje přiložený obrázek (Obr. 26). Trhliny mohou představovat riziko prasknutí kroužku v aplikaci zákazníka.



Obr. 26 Spálený materiál včetně trhlín

**Návary, nábrusy a kanty** – návary, nábrusy a kanty (Obr. 27) jsou vady, které lze identifikovat vizuálně. Návary se vyskytují na vnějších i vnitřních kroužcích a jedná se o strhnutý materiál unášeče při broušení. Dalším poškozením jsou nábrusy, nepřipustné jsou velké nábrusy na čelní ploše znatelné nehtem, vizuálně a s drsností mimo výkresovou toleranci. U kantů jsou nepřipustné nedobroušené plochy na krajích nebo výstupky na broušených plochách – tyto zamezují následné montáži válečků / jehliček. Kanty vznikají od krátkého nebo mechanicky poškozeného kotouče.



Obr. 27 Návary, nábrusy a kanty

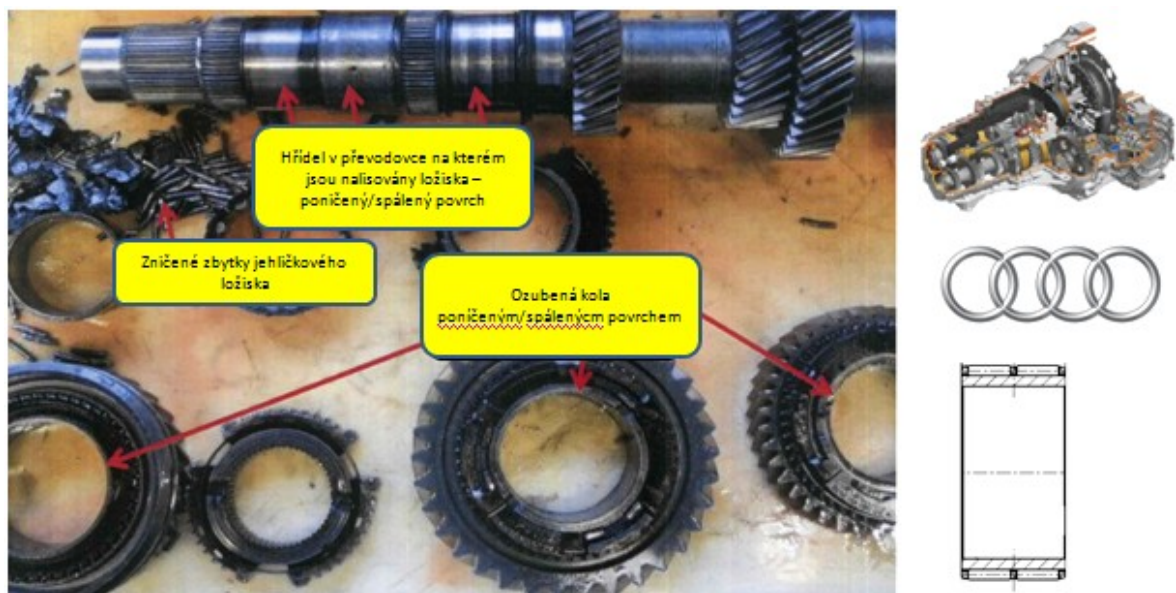
### Vady v aplikacích

Pokud se vady vyskytující se ve výrobě včas nedetekují, mohou následně způsobit vady v aplikacích u konečných zákazníků. Mezi vadami vyskytujícími se v aplikacích u zákazníků může být například chybně zalisovaný valivý element v kleci a následně vypadnutí do útrob převodovky u zákazníka ZF Slovakia (Obr. 28).

Dalším příkladem vady může být špatná šířka kroužku (vnitřní nebo vnější průměr mimo toleranci), která může způsobit poničení ložiska a aplikace u zákazníka Audi (Obr. 29).



Obr. 28 Vady v aplikaci zákazníka ZF Slovakia [11]



Obr. 29 Vady v aplikaci zákazníka Audi [11]

## 5 Návrh vhodné struktury PFMEA a nastavení pravidel k použití

Tato kapitola obsahuje návržení vhodné generické PFMEA pro válečková ložiska a nastavení pravidel k jejímu používání. Generická procesní FMEA je navržena tak, aby ji bylo možné následně využít také pro veškeré komponenty vyráběné v KBCZ. Generická PFMEA zahrnuje procesy soustružení, kalení, broušení – zde byla využita zjištění z provedené analýzy a procesu montáže.

Generická PFMEA je vytvořena pro komponenty:

- AR,
- JR,
- smontované ložisko (AR+JR+montážní komponenty).

Pozn.: Zjištění na další výrobní spektra – RA, VT – budou následně aplikovány do odpovídající generické PFMEA.

### 5.1 Návrh struktury

Sestavení této struktury probíhalo v týmu FMEA především na základě vyhodnocení výsledné analýzy vyskytujících se vad ve výrobě a všech materiálů zaznamenaných v předchozí kapitole.

Dalším krokem týmu FMEA, nutným pro vytvoření generické PFMEA, bylo identifikovat následky vad, tj. dopad na finální aplikaci, popř. následující operaci, a ohodnotit vyskytující se vady pomocí tří charakteristik (význam, výskyt, detekce). Pro stanovení známek hodnocení těchto charakteristik sloužily tabulky s požadovanými kritérii, obsažené v teoretické části, a informace o četnosti měření kontrolovaných znaků pro stanovení detekce (Obr 30).

Charakteristiky sloužící pro posouzení rizik:

- závažnost (S),
- výskyt (O),
- detekce (D).



Operace	Kontrolovaný znak	Četnost měření	Detekce
Soustružení	Vnější průměr	3 ks - 20 min. SPC	5
	Vnitřní průměr	3 ks - 20 min. SPC	5
	Celková šířka	3 ks - 20 min. SPC	5
	Celková šířka	100% Poka Yoke	4
	Vnitřní průměr osazení	3 ks - 20 min.	6
	Kruhovitost vnitřního osazení	3 ks - 20 min.	6
	Vnitřní průměr zápichu	3 ks - 20 min.	6
	Šířka osazení 1	3 ks - 20 min.	6
	Šířka osazení 2	3 ks - 20 min.	6
	Hloubka drážky	3 ks - 20 min.	6
	Průměr drážky k vnějšímu průměru	3 ks - 20 min.	6
	Vnější a vnitřní sražení hrany	3 ks - 20 min.	6
	Vizuální kontrola	3 ks - 20 min.	6
	Detail X	1 ks uvolnění	9
Kalení a popouštění	Tvrdost dílu	3 ks ze zakázky	6
	Struktura dílu	1 ks ze zakázky	6
Broušení čel dílu	Celková šířka	3 ks - 5 min. SPC	5
	Šířkové házení čel	3 ks - 5 min.	5
	Drsnost čel	3 ks - 1 hod	7
	Vizuální kontrola	3 ks - 5 min.	8
Hrubování vnějšího průměru	Vnější průměr	3 ks - 5 min. SPC	5
	Rovnoběžnost vnějšího průměru	3 ks - 5 min. SPC	5
	Kruhovitost vnějšího průměru	3 ks - 5 min.	5
	Vizuální kontrola	3 ks - 5 min.	8
Broušení vnějšího průměru na hotovo	Vnější průměr	3 ks - 5 min. SPC	5
	Rovnoběžnost vnějšího průměru	3 ks - 5 min. SPC	5
	Kruhovitost vnějšího průměru	3 ks - 5 min.	5
	Drsnost vnějšího průměru	3 ks - 1 hod	7
	Vizuální kontrola	3 ks - 5 min.	8
Značení dílů	Vizuální kontrola	10 ks - 1 hod.	8
Broušení funkčního osazení (bord 1)	Šířka funkčního osazení	4 ks - 20 min. SPC	5
	Sklon funkčního osazení	2 ks - za směnu	7
	Vizuální kontrola	4 ks - 20 min.	8
Broušení funkčního osazení (bord 2)	Šířka oběžné dráhy	4 ks - 20 min. SPC	5
	Sklon funkčního osazení	2 ks - za směnu	7
	Vizuální kontrola	4 ks - 20 min.	8
Broušení oběžné dráhy	Vnitřní průměr	4 ks - 20 min. SPC	5
	Rovnoběžnost vnitřního průměru	4 ks - 20 min. SPC	5
	Kruhovitost vnitřního průměru	4 ks - 20 min. SPC	5
	Přímost vnitřního průměru	2 ks - za směnu	7
	Drsnost vnitřního průměru	2 ks - za směnu	7
	Vizuální kontrola	4 ks - 20 min.	8
	Radiální házení	4 ks - 20 min.	9
Honování oběžné dráhy	Kruhovitost vnitřního průměru	2 ks - za směnu	7
	Přímost vnitřního průměru	2 ks - za směnu	7
	Drsnost vnitřního průměru	2 ks - za směnu	7
	Vizuální kontrola	4 ks - 20 min.	8
Kontrola vnějšího průměru	Vnější průměr UD Intonix Brána	100% zakázku	4

Obr. 30 Četnosti měření pro stanovení detekce

Po ohodnocení jednotlivých vyskytujících se vad následovalo určení ukazatele priority rizika RPN, sloužícího ke stanovení priorit opatření. Rizikové číslo jednotlivých možných vad vzniklých určitou příčinou se vypočítá jako součin hodnocení závažnosti, výskytu a detekce vad. Vzorec (1) pro výpočet RPN je uveden v teoretické části, kapitola 1.11.2.

Ukázka tabulky základu pro databázi generické PFMEA je obsažena v Technické zprávě [12].

Pro přehledné zpracování databáze PFMEA byl vytvořen návrh formuláře PFMEA (Příloha A), který obsahuje základní informace týkající se vytvoření, například odpovědnost za proces, řešitelský tým, datum vypracování, datum revize atd. Samotný formulář obsahuje jednotlivé výrobní oblasti, kroky procesů, možné způsoby, důsledky, příčiny vad a jejich ohodnocení z hlediska závažnosti, výskytu a detekce. Vynásobením těchto parametrů je získáno rizikové číslo RPN. Pro vady s vysokým číslem RPN či závažností se následně stanovují opatření k jejich minimalizaci: jedná se o opatření vedoucí ke zlepšení prevence (zlepšení průběhu procesu, způsobilost zaměstnanců, zlepšení nástrojů atd.) nebo detekce (změna způsobu kontroly – zvýšení četnosti kontroly, automatizovaná kontrola, Poka-Yoke atd.). Pro tato opatření slouží další část tabulky, ve které se opatření specifikují, znovu ohodnotí z hlediska závažnosti, výskytu a detekce. Následně se vypočítá nové RPN, které by mělo mít po úspěšně zavedeného opatření menší hodnotu.

Vady s nejvyšším číslem RPN v databázi generické PFMEA jsou zaznamenány ve formuláři PFMEA, včetně jejich ohodnocení a následných opatření. Tento formulář s vadami je znázorněn v Technické zprávě [12].

## 5.2 Pravidla pro řízení PFMEA v podniku

Tým PFMEA si definoval následující pravidla pro řízení PFMEA:

- 1) Tým FMEA provádí revizi vždy v případě nových zjištění ze strany zákazníka (reklamac, upozornění, podněty), interních procesů a v návaznosti na nové projekty. V ostatních případech je revize stanovena min. 1x ročně.
- 2) RPN ukazatele jsou následně předmětem hodnocení týmu pro stanovení opatření k minimalizaci rizikového čísla. Při stanovení opatření musí být sledována a vyhodnocována jeho efektivita a po potvrzení efektu může dojít k přehodnocení RPN dané vady, zlepšení prevence (vede ke snížení výskytu) nebo zvýšení stupně kontroly (zlepšení v oblasti detekce).
- 3) Tým FMEA bude řešit aktuálně nejvyšší RPN a vady s nejvyšším číslem závažnosti (S), výskytu (O) a detekce (D).
- 4) V případě zvláštních či kritických znaků je významnost hodnocena nejméně stupněm 8.

## 6 Celkové zhodnocení přínosu práce pro praxi

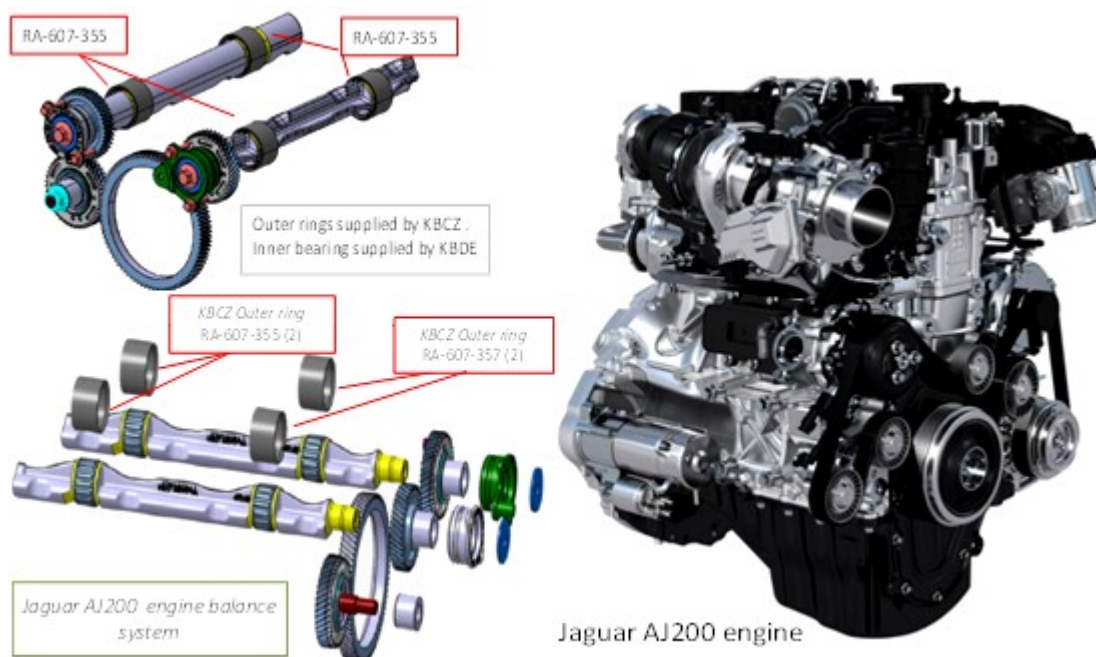
Vypracováním nové procesní FMEA pro výrobu ložisek a nastavení pravidel k jejímu užívání bylo pro KBCZ přínosem tím, že byly analyzovány veškeré možné vady ve výrobě a následně stanovena pravidla, jak těmto vadám předcházet a minimalizovat jejich výskyt.

Na základě získaného přehledu o vadách v jednotlivých procesních krocích a s využitím vytvořené databáze detekce byla zjištěná z této diplomové práce využita k návrhu nové automatizované linky pro zákazníka Mitec Automotive AG s ohledem na vybavení kontrolními měřidly, sloužící k zajištění včasné detekce případných vad při výrobě. Tato linka je zaměřena na výrobu vnějších hladkých kroužků.

### 6.1 Automatizovaná linka pro Mitec

Projekt pro zákazníka Mitec získalo KBCZ v roce 2013 a po nutných právních záležitostech a přípravných akcích bylo možné tento projekt začátkem roku 2017 realizovat za použití nově navržené PFMEA.

Konečnými uživateli vyráběných produktů pro Mitec jsou automobilky Land Rover a Jaguár, jenž tato ložiska aplikují do vyvažovacích hřídelí motorů. Obrázek aplikace ložisek pro Mitec (Obr. 31) znázorňuje vyvažovací hřídel a kompletní motor typu AJ 200 pro automobily Jaguár, pro který se tato hřídel vyrábí.



Obr. 31 Aplikace ložisek pro zákazníka Mitec [11]

Nová výrobní linka, obsažená v Technické zprávě [12], pro zákazníka Mitec je plně automatizovaná a operátor zajišťuje kontrolní měření na základě definovaného kontrolního plánu a 100 % vizuální kontrolu. Vstup na lince představuje automatické měření vnějšího průměru (OD) a jeho šířky kroužku. Další část tvoří broušení vnitřního průměru (ID), měřeno v pravidelných intervalech operátorem se záznamem do SPC, po této kontrole následuje honování ID a automatická kontrola ID, kruhovitosti, rovnoběžnosti a vlnitosti. Po praní a konzervaci komponentu probíhá laserové značení a 100 % vizuální kontrola všech ploch operátorem. Poslední operací je balení s ověřením kompletnosti automatickou váhou se signalizací. Inovace mají kvalitativní a tím i ekonomické dopady.

Výrobní postup na nové výrobní lince pro Mitec je znázorněn v Technické zprávě [12], včetně uvedených časů u jednotlivých operací.



## Závěr

Cílem diplomové práce, která byla zpracovaná ve strojírenské společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o., byla revize stávajícího systému PFMEA. Na základě informací z provedené analýzy byla dalším krokem aktualizace PFMEA tak, aby zahrnovala aktuální rizika výrobních procesů.

Práce byla přehledně rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části byla rozebrána kompletní problematika týkající se metody PFMEA. Metoda byla popsána z hlediska historie, rozdělení, cílů a její aplikace. Značnou část teoretické části obsahuje popis postupu vypracování PFMEA. Pro její vypracování jsou popsány všechny etapy, které zabezpečují systémový přístup a zajišťují reprodukovatelnou dokumentaci. Při postupu PFMEA byl dále vysvětlen systém posouzení rizik – závažnosti, výskytu, detekce a jejich hodnocení pomocí ukazatele priority rizika RPN.

Úvod praktické části pojednává o základních informacích společnosti, ve které byla tato diplomová práce zpracovávána. Jsou zde uvedeny informace zahrnující její historický vývoj, situování závodu, organizační strukturu, získaná ocenění a certifikáty. Dále je znázorněna výrobní hala a schéma jednotlivých pracovišť. Analýza současného stavu byla zaměřena na podrobný popis výrobního portfolia společnosti a na její přední zákazníky. Další kapitola obsahuje popis jednotlivých technologických procesů při výrobě ložisek a jejich komponentů. Značnou část praktické části dále tvoří vyhodnocení analýzy vad a aplikace metody PFMEA.

Pro vyhodnocení analýzy vad byly k dispozici veškeré materiály z oddělení kvality – výkresy, záznamy o průběhu směn 2016, DFMEA, současná PFMEA, reklamace, 4D zprávy o řešení interních problémů, kontrolní plány. Tyto materiály vedené v tabulkovém procesoru Excel bylo nejprve nutné zpracovat do přehledné podoby a následně vyhodnotit výskyt vyskytujících se vad. Po zpracování materiálů byla vytvořena výsledná analýza, na základě které byly zjištěny všechny vyskytující se druhy vad u posuzovaných komponentů na jednotlivých pracovištích. Pro lepší znázornění bylo vytvořeno vizuální zobrazení vyskytujících se vad ve výrobě a v konečných aplikacích.

Vzhledem k širokému výrobnímu sortimentu bylo členy týmu PFMEA rozhodnuto analýzu vad, potřebnou pro sestavení PFMEA, provést pro válečková ložiska (CRB's). Tato ložiska patří svým objemem výroby mezi nejrozšířenější a jsou pro podnik stěžejním výrobkem. Výrobní postupy jednotlivých druhů ložisek se od sebe prakticky neliší. Analýza vad a vytvoření PFMEA pro válečková ložiska představuje základ pro vytvoření generické PFMEA, kterou lze využít a aplikovat pro veškeré výrobní portfolio podniku.

Cíl diplomové práce, tak jak byl stanoven, byl splněn: na základě vyhodnocení veškerých materiálů byl definován základ pro generickou PFMEA a pravidla jejího řízení pro zajištění aktualizace na základě nových zjištění, podnětů týmu i informací zákazníka. Generická PFMEA zahrnuje procesy soustružení, kalení, broušení – zde byla využita zjištění z provedené analýzy a procesu montáže. Srovnáním stávajících hodnocení významu, výskytu a detekce s tabulkami definovanými normou, byly zjištěné rozdíly odstraněny tak, aby PFMEA poskytovala odpovídající přehled o rizikovosti jednotlivých vad.

Jedním z přínosů diplomové práce bylo využití generické PFMEA pro návrh nové automatizované linky na výrobu hladkých vnějších kroužků pro zákazníka Mitec Automotive AG s ohledem na vybavení kontrolními měřidly, sloužící k zajištění včasné detekce případných vad při výrobě a zajištění maximální kvality výroby.

Diplomová práce měla přínos nejen pro podnik, ale také pro mě. Dozvěděl jsem se velké množství informací ohledně metody FMEA, která je nástrojem pro zlepšování kvality v oblasti procesů. Po seznámení s touto metodou jsem se ji následně naučil aplikovat v praxi a pracovat tak s reálnými problémy vyskytující se ve výrobě.

Pokud budou dodržovány definované návrhy na prevenci dle zpracované generické PFMEA a dodržována stanovená pravidla pro řízení PFMEA v podniku, lze očekávat eliminaci vad a reklamací. Vytvořením a dodržováním generické PFMEA jde o pozitivní kvalitativní krok.

## Seznam použité literatury

- [1] *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka.* Překlad Ivana Petrášová. 4. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. 143 s. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [2] *Zajištění kvality v oblasti procesů: FMEA produktu, FMEA procesu.* 2. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2012. 125 s.
- [3] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti.* 1. vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s. ISBN 80-7226-543-1.
- [4] *Zajišťování kvality před sériovou výrobou: Analýza stromu poruch (FTA).* 2. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2012. 23 s.
- [5] ŠULEŘ, Oldřich. *100 klíčových manažerských technik.* 1. vydání. Brno: Computer Press, 2009. 314 s. ISBN 978-80-251-2173-3.
- [6] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).* Praha: Český normalizační institut, 2007. 44 s.
- [7] *Koyo Bearings Česká republika s.r.o.* [online]. © 2016 Koyo Bearings Czech Republic. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.koyobearings.cz/uvod/>
- [8] *JTEKT Corporation* [online]. © 2006 – 2017 JTEKT Corporation. [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.jtekt.co.jp/e/products/bearing.html>
- [9] *Vnitropodnikové materiály společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o.*
- [10] *Koyo* [online]. © 2016 JTEKT Europe Bearings BV. [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <http://www.koyo.eu/en/>
- [11] *Vnitropodnikové materiály na oddělení kvality ve společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o.*
- [12] *Technická zpráva*

## Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1	Oblasti oddělení pro tým FMEA
Obr. 2	Vztahy informačních toků v rámci PFMEA
Obr. 3	Příklad struktury systému
Obr. 4	Příklad struktury funkcí
Obr. 5	Příklad analýzy vad
Obr. 6	Logo korporace JTEKT
Obr. 7	Logo společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o.
Obr. 8	Panoramatický pohled na Koyo Bearings Česká republika s.r.o.
Obr. 9	Certifikáty a ocenění KBCZ
Obr. 10	Letecký pohled na Koyo Bearings Česká republika s.r.o.
Obr. 11	Portfolio výrobků v KBCZ
Obr. 12	Aplikace produktů KBCZ v automobilovém průmyslu
Obr. 13	Hlavní zákazníci pro automobilový průmysl
Obr. 14	Hlavní zákazníci průmyslu
Obr. 15	Struktura kontrolního plánu
Obr. 16	Příjem materiálu v KBCZ
Obr. 17	Pracoviště soustružny v KBCZ
Obr. 18	Koš s komponenty před vstupem do kalící pece – kalírna
Obr. 19	Automatická linka na brusírně
Obr. 20	Pracoviště montáže a balení
Obr. 21	Sklad hotových výrobků
Obr. 22	Komponenty válečkového ložiska (CRB)
Obr. 23	Vizuální zobrazení vyskytujících se vad
Obr. 24	Nepřípustné tvary přímosti
Obr. 25	Nepřípustné tvary kruhovitosti
Obr. 26	Spálený materiál včetně trhlin
Obr. 27	Návary, nábrusy a kanty
Obr. 28	Vady v aplikaci zákazníka ZF Slovakia
Obr. 29	Vady v aplikaci zákazníka Audi

Obr. 30	Četnosti měření pro stanovení detekce
Obr. 31	Aplikace ložisek pro zákazníka Mitec
Tab. 1	Přehled vývoje FMEA
Tab. 2	Přehled etap PFMEA a jejich cíle
Tab. 3	Kritéria hodnocení závažnosti v oblasti PFMEA
Tab. 4	Kritéria hodnocení výskytu v oblasti PFMEA
Tab. 5	Kritéria hodnocení detekce v oblasti PFMEA
Tab. 6	Příklad výpočtu hodnoty RPN
Tab. 7	Historický vývoj KBCZ
Tab. 8	Vyráběné produkty v KBCZ

## Seznam grafů, schémat a příloh

Graf 1	Přehled prodeje produktů za rok 2015 v %
Graf 2	Export prodeje dle území za rok 2015 v %
Schéma 1	Rámcová mapa a vývojový diagram procesu
Schéma 2	Organizační struktura vedení v KBCZ
Schéma 3	Rozmístění jednotlivých pracovišť v KBCZ
Schéma 4	Postup vyhodnocení analýzy vad
Příloha A	Návrh formuláře PFMEA

### **Poděkování**

Tímto bych chtěl srdečně poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Vladimíře Schindlerové, Ph.D. z Katedry mechanické technologie VŠB – TU Ostrava za její vysoce přínosné odborné rady, vedení a podporu při zpracovávání diplomové práce.

Dále bych chtěl velmi poděkovat společnosti Koyo Bearings Česká republika s.r.o., ve které mi bylo umožněno tuto diplomovou práci zpracovat. Konkrétně upřímně děkuji mé konzultantce paní Ing. Silvii Čechové za užitečné rady ohledně metody FMEA, ochotné poskytnutí potřebných podkladů, seznámení s výrobou a také za velkou vstřícnost a vyhrazený čas na konzultace.